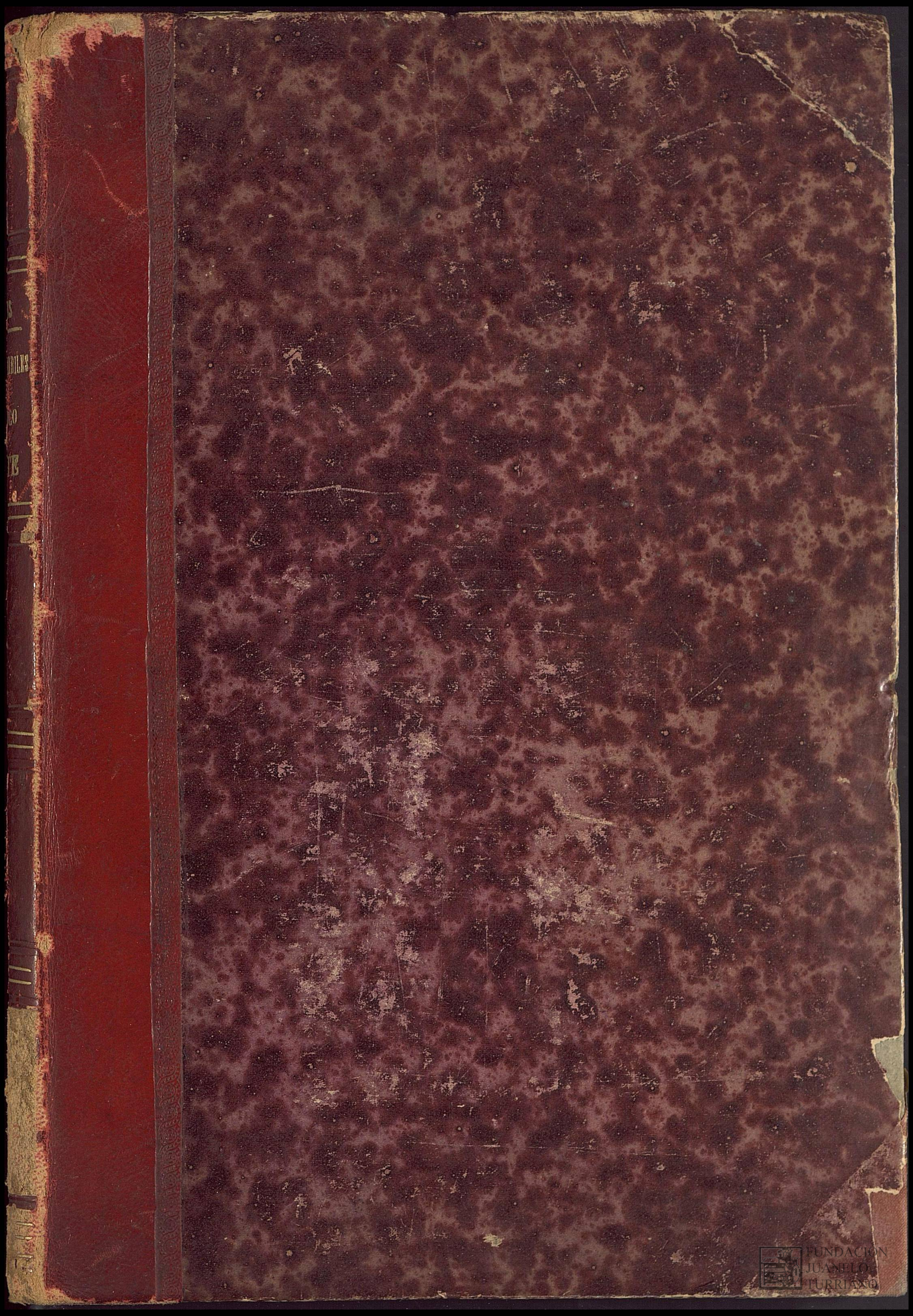
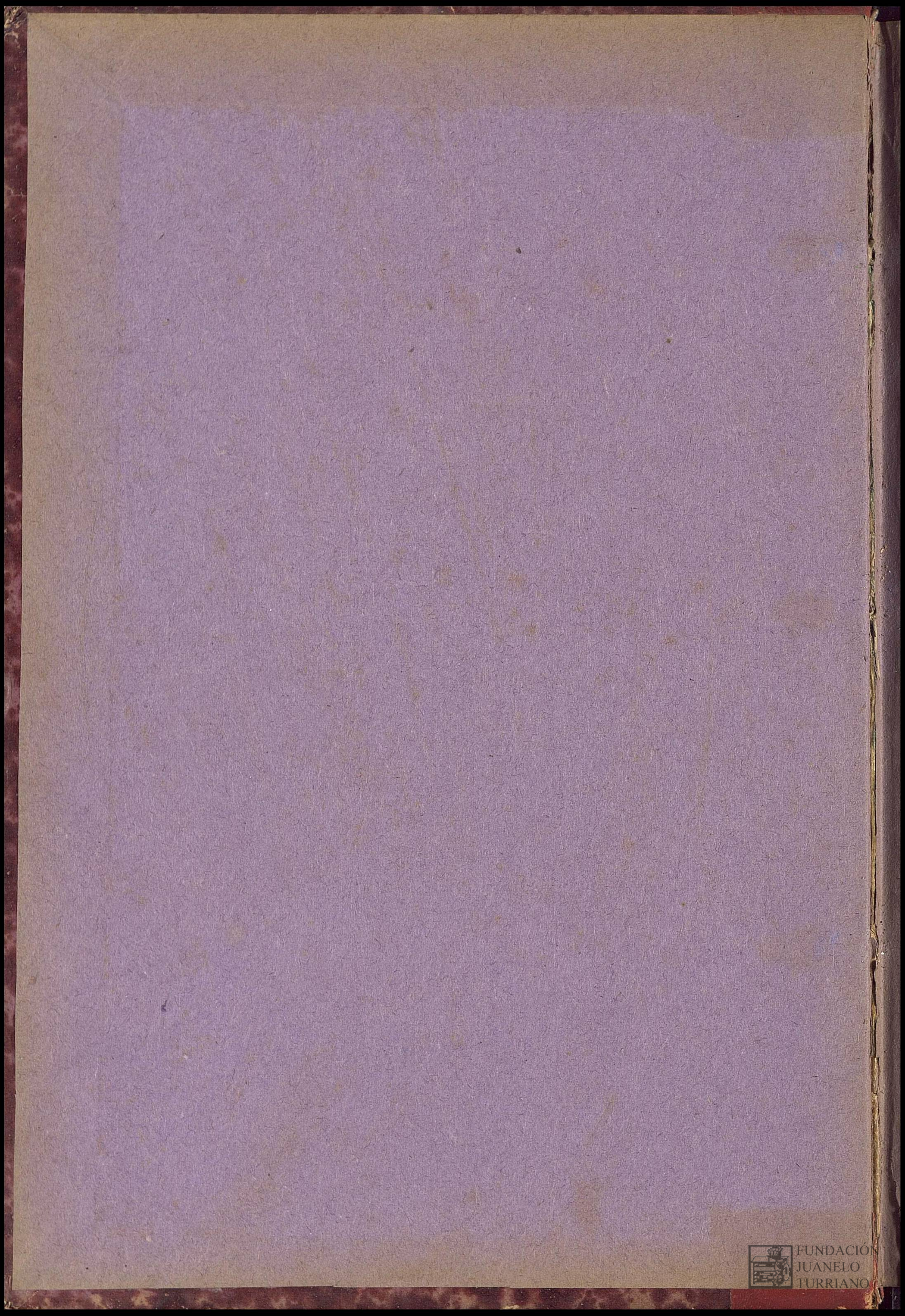

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO






FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FERRO-CARRILES DE POCO COSTE EN ESPAÑA



FERRO-CARRILES

DE

POCO COSTE EN ESPAÑA.

MEMORIA

LEIDA POR EL INGENIERO INDUSTRIAL

D. ANTONIO SANS Y GARCÍA

AL TOMAR POSESIÓN DEL CARGO DE PRESIDENTE DE LA

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES

DE BARCELONA,

El dia 29 de Noviembre de 1884



BARCELONA

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE JOSÉ MIRET

CALLE DE LAS CÓRTES (GRAN VIA), 289 Y 291, ENSANCHE

1885

DESARROLLO

DE LOS

FERRO-CARRILES DE POCO COSTE EN ESPAÑA

CAPÍTULO PRIMERO.

TRAZADO.

I. Preliminares.—Clasificación.

Nadie duda de la influencia rápida y bienhechora que los ferro-carriles ejercen en el desarrollo de la civilización llevándola á todos los ámbitos de la tierra, y nadie duda tampoco de que la conquista de las dilatadas regiones de la India, del África, de la América y de la Oceanía, más se deberán á esta portentosa máquina de trabajo que á la navegación misma que nos ha descubierto su mayor parte y que por sí sola nunca hubiera podido traspasar los reducidos límites de las costas. Y no hay que ir tan léjos para patentizar su portentosa influencia, véase lo que pasa á nuestro alrededor: la locomotora huella las fronteras de las naciones y las atraviesa contribuyendo al cosmopolitismo del género humano; así confunde idiomas, crea amistades entre gentes de diversos países y va levantando vallas entre las preocupaciones nacionales que son causas frecuentes de guerras ó cuando ménos de conflictos internacionales precursores de las mismas. Y más cerca de nosotros, todavía, la vemos surcar terrenos antes yermos y ahora pródigos en frutos, visitar poblaciones cuyas gentes apénas habian conocido jamás otro vehículo que la rústica carreta de bueyes, ó que nunca, la mayor parte de



ellas habian traspasado los límites de su término municipal, y sin embargo, ahora, activas, bullidoras obteniendo resultados ópimos, llevan sus productos agrícolas á lejanos centros de población. Las vías de comunicación, pues, son los más poderosos auxiliares de la producción de la riqueza, porqué permiten llevar los excedentes de unas regiones á otras que carecen de ellos, sin cuyo medio de darles aplicación no se producirían; y las categorías de los caminos emanan, por lo tanto, de los excedentes de riqueza nacional á transportar y de las personas que por consecuencia se han de mover.

Por esto, hoy, los ferro-carriles son vida de los pueblos y aquellos que por su desgracia han quedado separados de estas arterías que llevan la sangre, que dá vida y civilización, quedan irremisiblemente postergados y fuera del concierto vital que las demás constantemente entonan.

Y sin embargo, fuerza es decirlo, la vida de ciertas regiones es tan lánguida, que será necesario un trascurso de tiempo extraordinario para poderla reanimar, pues no es posible encontrar capitales para construir en ellas caminos de hierro de las condiciones ordinarias, y si lo fuese, sería solemne injusticia utilizarlos, porqué no sólo no obtendrían el interés á que tienen derecho sinó, que sería imposible hacer la explotación sin añadir cada día más dinero con qué atender á la conservación de las obras y materiales, y al pago del personal necesario para su funcionamiento.

Los ferro-carriles son parte de la inmensa industria de los trasportes, y como toda industria, hay que establecerlos con el capital proporcionado á los rendimientos de que son susceptibles. El no haberlos considerado así, ha sido causa de grandes quebrantos, que han ocasionado la ruina de muchas personas. De aquí surge la necesidad de servirse de aquellos caminos de hierro que resultan ser más baratos y á los que se ha aplicado la denominación de *ferro-carriles económicos*. Llámanse así, á los que se salen de las condiciones de las grandes líneas, porqué en ellos se evitan gastos de consideración en obras, casi podríamos llamar monumentales, que se encuentran en estas últimas, y porqué se sacrifica en ellos, hasta cierto punto, al capital de construcción, un aumento de gasto en la explotación de los mismos.

No es posible, empero, establecer una separación bien determinada y concreta entre estas dos clases de ferro-carriles, y todos deberían en efecto resultar y ser económicos con relación á la riqueza del país que sirven para que el capital encontrase el interés remunerador que le corresponde.

También se clasifican los caminos de hierro segun el ancho de su vía, en ferro-carriles de ancho ordinario y de vía estrecha; según los radios de sus curvas, en ferro-carriles de curvas de gran radio y de pequeño radio; segun el sistema de tracción empleado, en ferro-carriles de simple adherencia ó de cremallera, ó funiculares ó eléctricos, ó neumáticos; según sus rampas en ferro-carriles de grandes pendientes y de pendientes suaves; en aéreos ó subterráneos, según la posición de su vía: de un sólo rail ó de muchos, etc. Este cúmulo de clases que dá lugar á un número considerable de sistemas constituye un arsenal poderoso de que dispone el ingeniero que con juicioso discernimiento sabe escojer en cada caso particular el tipo más apropiado.

Las grandes líneas; es decir, aquellas que atraviesan extensas comarcas productoras, y las que salvando fronteras reunen dos ó más naciones entre sí, deben poder permitir un tráfico poderoso con velocidades grandes que no bajen de 50 kilómetros por hora. Este linaje de servicio no es posible sin emplear vía ancha, pendientes que no pasen del 2'50 por 100 y curvas que no tengan ménos de 200 metros de radio, y aún al fijar en 2'50 la rampa máxima tal vez nos excedamos en un medio por ciento, por más que algunos ingenieros notables han elevado este límite hasta 2'70; á lo ménos, este es el convencimiento que hemos sacado de la experiencia despues de ver durante muchos años lo que pasa en un ferro-carril español con rampas del dos por ciento.

II. Ancho de la vía.

La vía ancha, bien lo sabeis, es de $1^{m},50$, para toda Europa, excepto para Rusia que es de $1^{m},58$ y para España y Portugal que es de $1^{m},73$. Y no se crea que siempre sea suficiente para atender á todo el tráfico, un ferro-carril de estas condiciones, porque en el Reino-Unido, por ejemplo, ha sido preciso para conseguirlo establecer nada ménos que cuatro vías en toda la extensión de una línea.



Fuera de estos anchos normales hay gran variedad de ellos, en los ferro-carriles de vía estrecha, desde la amplitud de 0m,25 hasta la de 1m,25, y se explica esta diversidad por la falta de principios fijos en la manera de determinarlos ó por no atender á otra cosa que á las exigencias de la localidad á que respectivamente han sido destinados, partiendo del principio de admitir una vía tanto más estrecha cuanto más pobre es la localidad á que se destina.

Somos partidarios de los ferro-carriles de vía estrecha, pero para ello es preciso que concurran condiciones determinadas. No admitimos todos los anchos sin distincion á no ser que se trate de un ferro-carril cuyo aislamiento haga imposible su conveniente enlace con otros similares, que más tarde puedan crearse, y sobre todo no debe hacerse nunca lo que ha hecho Suecia admitiendo vías de 1m,219, de 1'188, de 1'093, de 1'067, de 0'891 y de 0'802, ni Francia, que en el departamento de la Sôme admitió el ancho de 1m25, es decir, una disminucion de solo 25 centímetros del ancho ordinario.

Por esta misma razon lamentamos que España se haya voluntariamente aislado del resto de Europa exigiendo un ancho distinto para sus vías principales originando pérdidas de mano de obra y de tiempo incalculables para dar tan sólo satisfacción á una mal fundada preocupación estratégica, ya que el argumento de la mayor estabilidad del material móvil no es válido porqué son suficientemente estables los vehículos de los ferro-carriles extranjeros, y ya que tampoco se ha sabido aprovechar el exceso de ancho en beneficio de la mayor capacidad del tráfico.

Esta diversidad hace imposible el cambio de material entre las compañías de vía estrecha, que en lo futuro tengan necesidad de establecer el enlace.

El criterio que creemos debe regir en la determinación del ancho es el siguiente:

Si se trata de un ferro-carril destinado á un servicio puramente industrial, el cual nunca tendrá necesidad de enlace alguno con otro ferro-carril, entonces, renunciando ya á su futuro enlace con ningun otro, se determinará el ancho por la capacidad que exija su tráfico, teniendo en cuenta el número de trenes diarios que se podrán hacer, dado el sistema de tracción, la velocidad de los mismos y la intensidad de sus rampas; de lo cual se



deducirá la capacidad de los vehículos y el ancho de la vía segun sean estos de cuatro ruedas ó de ocho, esto es, con *bogies*. Si el resultado fuese una vía de ancho próximo á un metro, aconsejaríamos, siempre, la adopción de esta dimensión y lo aconsejaríamos, tambien, siempre que el ferro-carril estuviese en localidad que más ó ménos tarde pudiese verse surcada por otro ferro-carril análogo; ya que en España (1) y aún en el extranjero, esta dimensión es la más generalizada. Si no se trata de una explotación de esta clase, sinó de un ferro-carril de servicio público, entonces no admitimos más que dos anchos: el normal y el de 1^m entre carriles, escogiéndose el primero ó el segundo segun que los rendimientos probables del ferro-carril excedan ó no de 10,000 pesetas en los primeros años, lo cual dará la casi seguridad de que al cabo de 15 ó 20 años, por lo ménos, será todavía muy suficiente trabajando, entónces, con el máximo de efecto útil, si se nos permite hablar así, y sobre todo no se expondrán capitales muy importantes á las consecuencias de una ruina casi segura.

La vía ancha puede ser conveniente, empero, en ramales de líneas principales á fin de hacer más fácilmente su explotación empleando el material móvil y las locomotoras de éstas; en ramales de mina cortos que dén un tonelaje diario regular,—200, toneladas, supongamos—que deban ser transportadas por una línea principal á distancias respetables; aúnque siempre el ingeniero con su buen criterio es quien debe resolver lo que sea más conveniente en cada caso particular, calculando los rendimientos probables y el coste de la vía en los dos casos. Por supuesto, que al calcular los productos deberá ser comedido en el valor que les atribuya, y no queremos decir como el ingeniero noruego Mr. Pihl que «al construir un ferro-carril se debe tener en cuenta sólo el tráfico presente dejando para el porvenir el buscar los medios de dar abasto al desarrollo del movimiento,» pero tampoco debemos calcular con el que corresponderá al cabo de veinte ó más años de abierta la explotación. Téngase en cuenta que hablamos de los ferro-carriles que no constituyen líneas principales, sinó líneas secundarias que atraviesan países relativamente pobres y despoblados.

---

(1) Véase la tabla de los ferro-carriles económicos españoles que damos más adelante.



La objeción más seria que se ha hecho á los ferro-carriles de vía estrecha ha sido el coste del trasbordo que exije al pasar de ellos á otros anchos ó al revés, y las pérdidas que la mercancía sufre con este trasbordo. En cuanto á este último extremo diremos, que los medios de trasbordo perfeccionados con que cuentan hoy día las estaciones, y de los cuales más adelante nos ocuparemos, permiten hacer el trasbordo sin detrimento alguno de las mercancías y permiten tambien, hacerlo á precios sumamente reducidos. Entre innumerables datos que en apoyo de lo que decimos podríamos dar, citarémos la opinión del general Mr. Palmer, expuesta en una memoria publicada referente al ferro-carril de $0^m,90$ de ancho establecido entre Dender y Rio Grande, que la tonelada de mercancía trasbordada cuesta 0'50 pesetas para las mercancías pesadas y 0'75 pesetas para las ligeras, y teniendo en cuenta que solo la cuarta parte de las mercancías llegan á trasbordarse, que la línea tiene 97 kilómetros (1), y que el jornal allí cuesta doble que aquí, resulta el coste kilométrico de una tonelada trasbordada á pesetas $\frac{0'50}{98 \times 4 \times 2} = 0'0007$ de peseta para las mercancías pesadas y análogamente pesetas 0'0001 para las ligeras. Esto es, un coste insignificante. Tomando pié de lo que cuesta en España el trasbordo de mercancías en los ferro-carriles ordinarios ó sean 0'21 de peseta por tonelada, para no acudir al caso del ferro-carril americano, y suponiendo por otro lado que el exceso de coste de una vía ordinaria sobre una vía de un metro sea solo de 60.000 pesetas que admite el ilustrado ingeniero español señor Alzola, en una série de artículos que se están publi cando actualmente en la *Revista de Obras públicas* y en los que se esfuerza en demostrar las ventajas de la vía ancha sobre la estrecha, y suponiendo, en fin, que la relación entre la recaudación de viajeros y mercancías es $\frac{7}{13}$ que resulta aproximadamente en la red del Norte, para un producto bruto kilométrico de 10.000 pesetas, corresponderán 5.384 pesetas al producto bruto de mercancías que á 0'15 pesetas por tonelada-kilómetro representará 35.893 toneladas-kilómetros trasportados y en el supuesto de un

(1) Esta memoria se halla extractada en el *Engineering*, página 30, segundo semestre del año 1873.



recorrido medio de 25 kilómetros representarian 1.435 toneladas de mercancías trasportadas; y suponiendo, en fin, que de ellas se trasborden, no la cuarta parte, como dice Mr. Palmer, sino todas, al precio antedicho representarán un gasto anual de 301 pesetas, muy inferior al interés que podrá dar el capital ahorrado.

Más temible que el coste del trasbordo es el tiempo perdido por su causa si la Compañía de vía ancha que está en relación con la de vía estrecha no proporciona oportunamente los vagones necesarios; pero, esta es una contrariedad con la cual no se puede contar y que desaparece desde el momento que explota ambas líneas una misma Compañía.

Más adelante hablarémos de las disposiciones más convenientes para facilitar los trasbordos.

Otra de las ventajas de la vía estrecha es la disminución del peso muerto trasportado por tonelada de mercancía; pues miéntras pesan 6 toneladas próximamente los vagones de vía ancha que pueden cargar 10 toneladas de mercancías los de vía estrecha que pueden cargar 6 toneladas no pesan más de 2 $^{1}/_{2}$ toneladas, de modo que miéntras en los primeros la relación del peso útil al muerto es 1'666, en el segundo es 2'40.

Contribuye á este aprovechamiento de la fuerza de arrastre el ser ménos perjudicial la circulación de vagones que no llevan toda la carga, ya que ésta se puede subdividir entre mayor número de aquellos. Se dirá, que generalmente las compañías tienen las tarifas dispuestas de manera, que aún cuando una expedición no llegue á las 8, 10 ó 12 toneladas que cargan los vagones, sin embargo, se paga por vagón completo; pero esto no es aplicable siempre, y en último resultado no se trata de la recta ó torcida interpretación dada á las tarifas sinó de la fuerza motriz que real y efectivamente se necesita para arrastrar una tonelada de mercancía.

Hemos admitido como generalmente preferible el ancho de vía de 1^{m}, (es decir, 1'045 entre ejes de los carriles), tratándose de vía estrecha, no porqué sea éste en sí el tipo más lógico, sino porqué es el más generalizado, y esto puede facilitar las relaciones mútuas de las compañías de esta índole y aún en España cuyo ancho normal es mayor, es más lógica dicha dimension que en otros países, pues, por solos 0^{m},50 de diferencia se hace en ellos el cambio de latitud. Aquí, la relación entre los costes de las vías



anchas y estrechas ha de ser mucho mayor que en otras partes. Por esta razón, repetimos, no sabemos explicarnos cómo en algunas regiones por solos 25 centímetros de diferencia han roto la uniformidad de los anchos.

En fin, otra de las grandes ventajas de las vías estrechas, es permitir curvas de radio tanto más pequeño cuanto más estrecha es la vía, gracias á la disminucion natural de la longitud y latitud de la base de sustención de los vehículos y máquinas á lo cual es debido también el menor peso por eje, y por consiguiente la posibilidad de reducir el peso del metro líneal de carril. Pero, de aquí se origina en cambio un defecto: los trenes tienen menor capacidad para el trasporte y se llega pronto al límite superior de los que es posible circulen por la vía, y esta circunstancia es tanto más atendible, cuanto, que generalmente esta clase de ferro-carriles llevan consigo aumento de rampas y disminución de velocidad. Semejantes caminos de hierro son á propósito y responden perfectamente á tráficos moderados que no pasen nunca de 20.000 á 25.000 pesetas, siendo preferible colocar una vía ancha si los productos brutos han de alcanzar esta cifra al cabo de algunos años de explotación. Más adelante insistiremos todavía en la discusión del ancho más conveniente.

III. Radio de las curvas.

El radio de las curvas no puede determinarse de un modo tan concreto, y solo se consigue averiguar el que más conviene después de algunos tanteos calculando las variaciones que sufren según las hipótesis que se hacen, las cantidades de tierras que se han de remover y la diferencia de coste de las obras de fábrica, y comparando estos resultados entre sí. En ciertos casos se alarga demasiado la longitud de la vía queriendo disminuir el radio y esto obliga á no salirse de ciertos límites. Según sea el adoptado, se fijará la separación de las ruedas y el número de éstas, admitiendo solo en casos de resultar curvas de ménos de 40^m de radio, los vagones con *bogies*, porqué si bién son excelentes para tal propósito son difíciles de manejar á brazo en las estaciones y exijen mucho peso muerto que es uno de los defectos de los ferro-carriles de vía ancha, según hemos demostrado.

Cuando el ferro-carril que se proyecta es un ramal de una

línea principal de igual ancho de vía que ella no convendrá la adopción de curvas de más pequeño radio que el que permite el material móvil empleado en dicha línea principal á fin de no tener que emplear en ella material móvil distinto del de ésta; sin embargo, si su tráfico ha de ser muy exíguo se adoptará la vía estrecha en consonancia á lo que llevamos dicho y los rádios de las curvas adecuadas á la misma.

En las líneas principales cuya velocidad debe llegar á 60 kilómetros por hora no conviene adoptar radios que bajen de 250 metros, y aún á este límite no se ha llegado, como regla general, por más, que como dijimos en un artículo que publicamos en la Revista-Tecnológico-Industrial el año 1881, en casos excepcionales y en líneas de mucho tráfico, sin emplear material móvil especial se han adoptado curvas hasta de 130 metros de radio. Hay una tendencia constante á disminuir estos radios, y esta tendencia seguirá aún, hasta que el material de las Compañías permitirá alcanzar un límite muy bajo.

Las vías estrechas admiten radios muy pequeños, contándose ya al mismo tiempo con una velocidad pequeña, y en la de 1^m de ancho puede fácilmente admitirse un mínimo de 80 metros con vehículos usuales de aquel calibre.

IV. Rampas.

Lo que más caracteriza un ferro-carril, aún más que el ancho de la vía, son las rampas máximas admitidas en él, y según que estas puedan ó no ser remontadas por locomotoras ordinarias, se dividen en ferro-carriles de simple adherencia y ferro-carriles de adherencia artificial. No se necesitan más pormenores para comprender cuáles sistemas deberán clasificarse en cada uno de estos dos grupos y vamos ahora á examinar cuál es el límite máximo que puede darse á las rampas de los primeros.

Ferro-carriles de simple adherencia.—Una locomotora, por sí sola, puede ascender cualquiera inclinación para la cual se verifique, que el producto del peso de la máquina por la fracción de la unidad que exprese la rampa (v. g. $\frac{1}{20}$ para una rampa de 1 en 20 ó 5 por ciento) sea menor que el producto del peso sobre las ruedas motrices por el coeficiente de adherencia. Este último,



que puede llamarse adherencia *neta*, es el máximo esfuerzo que puede utilizar la máquina remontándose á sí misma. El coeficiente de adherencia varía, según el tiempo y otras causas, entre 0'30 y 0'10; de 300 casos experimentados el promedio que se sacó fué 0'18, pero solo debe contarse con 0'10 para no quedar burlados los cálculos en tiempo de humedades.

Esto supuesto, si llamamos: P al peso y carga de la máquina en trabajo; $\frac{1}{n}$ la rampa y Q el peso útil de la máquina ó sea el que carga encima de las ruedas motrices se tendrá:

$$\frac{P}{n} < 0'10\ Q.$$

y pasando al límite de esta desigualdad será:

$$\frac{1}{n} = 0'10\ \frac{Q}{P}.$$

y en fin suponiendo el caso más favorable para una máquina; esto es, que todas sus ruedas están acopladas, en cuyo caso todo el peso de aquella se utiliza para la adherencia, y $Q = P$, se tiene que la rampa máxima que podrá remontar la máquina sola, sin arrastrar ningún vehículo, será de 10 por 100. Este es el límite del cual no pueden pasar los ferro-carriles de simple adherencia. Mas, á medida que *n* disminuye puede ser mayor el valor de P, sobre todo si es Q todo lo más grande que puede ser, es decir, si las ruedas de la locomotora son todas acopladas.

De modo, que: si se trata de una rampa de 4 por 100, ó $\frac{1}{25}$ y de una locomotora de 20 toneladas, utilizables todas, sobre los ejes acoplados, el valor de P no podrá llegar á:

$$P = 25 \times 20 \times 0'10 = 50 \text{ toneladas}$$

y esta será toda la carga que podrá componer el tren comprendida la máquina; es decir, poco más de dos vagones cargados en una vía ordinaria. Si la rampa fuese de 10 por 100, apenas la máquina podría subir sola.

Se vé, pues, que con la simple adherencia la rampa ha de ser muy poca y aún podemos añadir que no podrá exceder de 5 por



100, pues, en este caso una máquina enorme, de 50 toneladas utilizables todas, solo podrá remontar un tren de 60 toneladas también utilizables, es decir, tres vagones de diez toneladas de carga.

Por supuesto, que según sea el tiempo, la adherencia variará, y en tiempo seco aumentará un poco la potencia, y cuenta que no limitamos, la fuerza de la máquina ni fijamos la velocidad al hacer los anteriores cálculos.

El límite generalmente admitido para los ferro-carriles de simple adherencia es 4 por 100; este es el que en Alemania ha sido adoptado para los ferro-carriles llamados allá de segunda clase y cuya velocidad, según el *Railway Engineer,* no pasa de 12 kilómetros.

En América, según la obra de Lavoine y Pontzen, *Chemins de fer en Amerique,* la mayor rampa salvada por adherencia natural está en los Estados-Unidos, en Madison, situada en el ferro-carril de Jefferson, Madison é Indianópolis. Tiene 6 por 100 en una longitud de 2 kilómetros, casi rectos. Al principio era subida con fuerza animal y las locomotoras han resultado ser la mitad más económicas que las caballerías. Los mismos autores mencionan que en las Montañas azules, para el ferro-carril de Chesapeake á Ohío, fué construido provisionalmente un camino con rampas de 5'50 por 100 y las subia una máquina tender de 6 ruedas acopladas que pesaba 24 y $^3/_4$ toneladas cargada ó 22 y $^1/_2$ vacía y arrastraba á la velocidad de 11 kilómetros tres vagones sistema americano, cuyo peso era de 40 á 50 toneladas. En fin, un caso más notable todavía, es el camino provisional hecho para la construcción del túnel Kingwood del ferro-carril de Baltimore á Ohío. Tenía una rampa de 10 por 100 la cual decrecía, no obstante, hacia la cúspide y era subida por una máquina de 8 ruedas acopladas que pesaba 25 toneladas, y que arrastraba un tender de 15 y un simple vagon, sumando en totalidad 60 toneladas. Al ascender, el vagon era colocado delante. En este caso claro está que el coeficiente de adherencia era mayor que el promedio 0,18 citado; llamándole K y despejado de la igualdad establecida antes resulta:

$$K = \frac{P}{n\ Q} = \frac{60}{10 \times 25} = 0'24.$$

En Europa, hay un ejemplo que merece mención especial. Nos



referimos al ferro-carril que desde Zurich conduce á la cumbre del monte Uetliberg, desde el cual se domina el pintoresco lago de este nombre gozándose de un explendente golpe de vista. Los ingenieros que estudiaron este ferro-carril habían construido ya otro que tenía una rampa de 4 ½ por 100, y les pareció que obtendrían buen resultado salvando los 402 metros de elevación por medio de una série de rampas distribuidas del modo siguiente: una rampa máxima de 7 por 100 para los últimos 55 metros de altura, otra de 5'3 por 100 para los 300 metros más bajos y otra de 6'7 por 100 para los 47 intermedios. Sabido es que dicho ferro-carril ha tenido buen éxito y que su máquina, que es de 16 toneladas, tiene seis ruedas todas acopladas y trabaja á 12 atmósferas de presión.

Aquí mismo, en San Gervasio y Sarriá, hemos visto una aplicación de simple adherencia en rampa de 9 por 100 por medio de la locomotora Brown de Winterthur, construida expresamente para la Compañía general de tram-vías. Esta máquina de 6 ruedas acopladas arrastraba dos coches de imperial completamente cargados de viajeros, y puede decirse que el problema de la adherencia se resolvió bién, solo que la existencia de curvas de 13 metros de radio con un ancho de vía de $1^{m}50$, hacía imposible un acoplamiento ordinario de las ruedas y fué preciso que la casa constructora sustituyera las bielas por una cadena Vaucanson que resistía poco tiempo la ruda fatiga que se le imponía (1).

Sea como quiera, en un ferro-carril económico no deben establecerse rampas de más de 4 por 100 á no ser en casos tales que sea imposible otra solución, porque serían siempre una enojosa obstrucción de la línea; aún haciéndolo como decimos, será difícil explotar bién con aquellas rampas, por más que se circunscriban todas á un solo punto desde donde se establezca un apartadero y un servicio especial para subir los vagones con máquinas auxiliares. — Tampoco hay que echar en olvido, en estos casos, que, uno de los muchos inconvenientes que ofrecen las grandes pendientes es la dificultad que hay de detener los trenes, porqué todos los frenos se hacen impotentes rebasándose las estaciones, y poniendo con frecuencia los trenes en grave pe-

(1) Véase el informe que hicimos de estas máquinas, publicado en la REVISTA TECNOLÓGICO-INDUSTRIAL, en el año 1881.



ligro. Con semejantes rasantes, además del freno ordinario de tornillo se debe emplear el contra-vapor, no de un modo cualquiera é inconsciente sino preparando convenientemente la máquina y aún un freno contínuo, tal es el de aire comprimido, como el Westinghouse, ó el Carpanter, ó el Wenger ú otros.

Y á pesar de ser tantas las precauciones que han de tomarse, debe tenerse en cuenta, además, que en los ferro-carriles en que se haya adoptado una rampa de más de 2 por 100, debe renunciarse á las grandes velocidades, más por temor á las bajadas que por las rampas y emplear máquinas de ruedas acopladas todas á fin de aprovechar todo su peso en beneficio de la adherencia. En ciertos casos: cuando se trate de ramales con rampas de 3 ó 4 por 100, podrá ser útil el empleo de máquinas especiales basadas en el principio de las del sistema Fairlie que no son otra cosa que dos locomotoras articuladas de 6 ú 8 ruedas acopladas cada una, reunidas por el extremo de la caja de fuego. Esto permite hacerlas de gran peso sin los inconvenientes de una longitud excesiva, más perjudicial en esta clase de ferro-carriles de trazado difícil que en otros principales que presentan curvas de mayor radio; y así, con toda independencia, las dos máquinas trabajan en los extremos de la locomotora. Decimos que deberían estar basadas en el principio de Fairlie, porqué tal como este inventor construye las suyas no nos satisfacen: principalmente por haber dos hogares, lo cual exige dos maquinistas para hacer bien el servicio; pues, si es cierto que por estar próximos aquellos uno solo con su fogonero, por supuesto, parece puede atenderlos y aún los atiende en ciertos casos, no puede hacerlo bién, pues, las calderas como las de locomotora ordinaria, tienen poco depósito de vapor, y trabajando en vías de muchas rampas son muy difíciles de llevar requiriendo un trabajo asíduo y una atención constante por parte del maquinista, para no encontrarse sin vapor en un momento dado, quedándose en mitad de un trayecto sin conseguir alcanzar la estación próxima. Esto sucede á veces á maquinistas que no son bastante expertos, llevando una locomotora de sistema ordinario y más fácil es aún, que acontezca á los que se vean obligados á atender á la vez dos hogares de una locomotora Fairlie, cuyas calderas para mayor dificultad son relativamente más pequeñas. Lo recomendable del sistema es, como hemos dicho, el tener ruedas motrices á los extremos de la loco-

motora, y por lo tanto, á mucha distancia unas de otras, trabajando en completa independencia, con beneficio de la carga adherente; pero, esto debería tratarse de conseguir con un solo generador. Un amigo nuestro, cuya opinión en materia de tracción de trenes es muy respetable, opina que no pueden recomendarse las referidas locomotoras, ni aún en principio; porqué, el haber dos máquinas de vapor ó cuatro, mejor dicho, supone doble número de órganos que pueden descomponerse, aumentando así, las probabilidades de averías. Esto realmente es un argumento de mucha fuerza y si se pudiera encontrar una solución que permitiera las ventajas mencionadas sin este inconveniente, sería preferible; pero, ya que por ahora no se vislumbra esta solución por la dificultad de poder emplear bielas de acoplamiento que permitan el suficiente juego, hay que pasar por este inconveniente. Profundizando, empero, más la cuestión, se observa aún, que las locomotoras ordinarias no son otra cosa que dos máquinas de vapor gemelas servidas por un solo generador, pues, ¿por qué no se han de poder construir locomotoras con una sola máquina de vapor? y entonces las fundadas en el principio de Fairlie podrían componerse de dos máquinas de vapor, tan solo, en vez de cuatro, quedando el número de probabilidades de averías reducido al de las actuales locomotoras. Se objetará la dificultad de señalar un emplazamiento al mecanismo, que sea á la vez fácilmente accesible é igualmente potente para uno y otro lado de la máquina; se dirá también que es ventajoso tener la potencia descompuesta en dos partes, porqué si se estropea una de las máquinas gemelas, pueda utilizarse la otra para llevar el tren hasta la estación inmediata, en lugar de quedarse en mitad del camino como sucedería irremisiblemente si no se contase más que con una máquina propulsora. En cuanto á lo primero, habría que buscar la solución del problema consiguiendo á la vez el fácil acceso y el resultado cinemático deseado, cosa que tal vez no es imposible, y respecto á lo segundo, hay que decir, que pocas veces se puede conseguir llegar á la estación con el solo auxilio de una de las gemelas, pues, casi todos los desperfectos que hemos visto en uno de los mecanismos, han sido producidos arrastrando un tren de mucho peso que no ha sido suficiente á remolcar la acción del otro, ni aún á una velocidad insignificante. Resultando de todo: que las máquinas Fairlie tal cual las construye su inventor, no



conviene adoptarlas y sería útil que los constructores estudiaran un tipo nuevo con una sola caldera y con dos máquinas de vapor una en cada extremo.

Interin este problema se resuelve, lo mejor es adoptar locomotoras ordinarias de peso apropiado «con todas las ruedas acopladas.» En estos ferro carriles *siémpre* se ha de utilizar todo el peso de la locomotora, á ménos de tener curvas de muy poco radio y rampas suaves, que entonces pueden ser útiles los de *bogie*.

Ferro-carriles de adherencia artificial.—Comprendemos bajo esta denominación, todos los ferro-carriles que no funcionan por la simple adherencia. No pretendemos hacer aquí una descripción detallada de los mismos, porque nos saldríamos de los límites que nos proponemos dar á esta Memoria, alargándola de un modo inconveniente; tan solo nos proponemos revistar someramente los medios de que dispone el ingeniero para operar la tracción cuando las rampas son excesivas; y téngase en cuenta que en tales casos el tráfico de que es susceptible el ferro-carril es muy limitado. Hay que decir, sin embargo, que entre estos medios hay uno, el más moderno de todos que puede ser muy útil, aún en rampas muy suaves, cuando en el ferro-carril ó tranvía, que mejor llamaremos en este caso, no pueda emplearse la simple adherencia por no permitirse el uso de locomotoras en vías públicas de mucha concurrencia; y otro, fundado en igual principio, que por su automatismo puede prestar grandes servicios en las minas.

Los sistemas de adherencia artificial se reducen á los siguientes:

1.° Sistema Fell;
2.° Sistema de cremallera;
y 3.° Sistema de cable.

Sistema Fell.—Este sistema consiste en la adopción de un rail central en el cual trabajan cuatro ruedas horizontales ó inclinadas, movidas directamente por las bielas de la máquina, las que trasmiten el movimiento á las verticales por medio de roscas sin fin y piñones helizoidales.

La primera idea de este sistema la tuvo en 1830 Ericson, pero no llegó á realizar nada verdaderamente práctico, y Fell, cuando



se estaba construyendo el túnel del Mont-Cenis, se propuso aplicarlo para salvar la divisoria de los Alpes, de San Miguel á Lanslebourg. Se constituyó al efecto una sociedad en la cual los señores John Brassey and Sons fueron los constructores y el Sr. Fell el ingeniero, y se construyó una pequeña línea de prueba en High Peak, de ancho ordinario y rampas de 8 por 100. La prueba fué hecha, en 1863 y en vista de su satisfactorio resultado se construyó la del Mont-Cenis, en 1868, sobre la carretera, con rampas semejantes, radios de 39 metros y ancho de $1^m 50$ también, la cual dió excelentes resultados, aparte de los inconvenientes con que tropezaba por causa de las nieves que existian en aquella altura de 2100 metros sobre el nivel del mar. La línea fué levantada cuando se hubo terminado el citado túnel del Mont-Cenis y su material trasportado al Brasil para una línea de 32 kilómetros, abierta al través de una cadena de montañas en el camino de Rio Janeiro.

Las máquinas Fell se construyeron de dos y de cuatro cilindros; en este último tipo, dos de los cilindros servian para mover las ruedas verticales directamente y los otros para las horizontales; y los coches llevaban, también, dos ruedas horizontales, una de ellas loca en su eje.

Sistema de cremallera. — Son dos los sistemas de esta clase ideados: el de cremallera ordinaria colocada en el centro de la vía y hecha generalmente de hierro forjado ó de acero con barrotes ó dientes muy resistentes, y la cremallera angular de Herr Wetli.

El primero de estos dos sistemas fué ideado por Herr Riggenbach y aplicado para subir al Riggi (Suiza) con una rampa que alcanza á $0^m,210$ por metro, ó sea 21 por 100. La vía de este sistema cuesta muy cara en razón de la cremallera, y requiere máquinas que llevan una rueda central dentada que engrana con aquella. Los coches no son más en número que uno para cada máquina, van colocados delante de ésta y tienen una inclinación adecuada á la intensidad de la rampa para que no sea incómoda la posición de los viajeros. Funcionan perfectamente y aúnque la cremallera requiere especial cuidado para que no se corra, parece se irán generalizando á guisa de ferro-carriles dedicados exclusivamente al servicio de los turistas.

Actualmente, hay proyectados dos para esta provincia de Bar-



celona, uno que debe poner en comunicación la estación de Monistrol sobre la línea de Barcelona á Zaragoza, con el Monasterio de Montserrat y cuya longitud total es de 7 kilómetros y otro para subir al pico del Tibidabo desde Vallcarca, de 2 kilómetros 400 metros. Dificultades financieras, que no sé si se vencerán, han impedido realizar ya, ambos proyectos y en el caso de construirse daremos su descripción más adelante, en las páginas de la Revista.

Con cremalleras análogas se ha empleado también otro medio de locomoción debida al ingeniero italiano Signor T. Agudio, en el plano inclinado Dusino del ferro-carril de Turin á Alejandría en el año 1862, y después en el plano inclinado Llansleburg, cerca del Mont Cenis, en 1874. La primera de estas líneas tenía 2240 metros de longitud y una rampa de 2'70 por 100, y la segunda 1500 metros de longitud con una rampa máxima de 28 por 100. En este sistema, el tren es arrastrado por un aparato llamado *locomotor*, formado por una rueda dentada que engrana con la cremallera central movida por poleas que á su vez reciben el movimiento de una máquina de vapor fija, por el intermedio de cables en el primer ejemplo, y por un par de turbinas de 450 caballos nominales cada una con cables, también, que daban al convoy una velocidad de 35 kilómetros, en el segundo.

Ambos sistemas difieren algo en el modo de combinar los cables. Este aparato se halla descrito al final del volumen II del tratado de ferro-carriles de Mr. Couche, y aúnque valió un favorable informe de este ilustre ingeniero en 1864 y otro de la comisión especial de ingenieros que los gobiernos francés é italiano nombraron en 1875, ni se ha extendido su uso, ni parece se ha de extender mucho.

El sistema de cremallera angular de Wetli, consiste, en una cremallera en la cual cada uno de sus dientes está formado por dos trozos rectos de carril inclinados según un ángulo de 25° con respecto al eje de la vía reunidos dos á dos en un punto de este eje en forma de V. Los brazos de cada diente deben solapar con el vértice del inmediato inferior, de modo que toda la línea esté ocupada y que engrave constantemente la rueda dentada cuyos dientes son angulares también y formados de dos espiras de hélice.

Esta rueda es un cilindro de longitud igual al ancho de la vía, y sobre la superficie de este cilindro están implantados, normal-



mente, unos rebordes siguiendo espiras de hélice opuestas que se juntan en el centro dos á dos, constituyendo cada par un diente que se aplica justamente á los dientes de la cremallera. En la primera de las ruedas construidas no había más que dos dientes y en la última se pusieron tres, separados de $0^m,90$.

Esta rueda dentada, que con más propiedad llamaremos cilindro, es llevada por la locomotora que al propio tiempo que la mueve actúa también sobre sus ruedas acopladas.

En 1871 se formó una compañía para explotar este sistema de ferro-carril y construir una línea de 17 kilómetros de longitud desde la estación de Wadensweil, situada en el ferro-carril de Zurich á Glarus, á Einsiedeln, con pendientes de 5 por 100 y curvas de 48 metros de radio. Sin embargo, la falta de capital impidió la terminación de aquella línea de la cual solo se llevó á cabo un pequeño trozo de medio kilómetro, y al cabo de poco tiempo de estar en explotación, un día, al descender y á pocos metros de distancia de la estación superior, desengravóse el cilindro por rotura de algunos dientes y el tren se precipitó alcanzando una velocidad de 120 kilómetros por hora, no obstante los poderosos frenos que llevaba, desacreditando indebidamente el sistema y siendo causa este accidente de que se sustituyera aquella vía por otra de simple adherencia y de que probablemente nunca más se haga otra aplicación del mismo.

Sistema de cable.—No tiene cabida en este grupo el sistema de Agudio de que ya hemos hablado, porque si bién el movimiento es trasmitido por cable, cada tren debe llevar su locomotor que hace las veces de locomotora, sin caldera, ni máquina de vapor que vienen sustituidas por la fuerza que el cable le trasmite. Por esta razón lo hemos incluido en el grupo anterior.

En el presente, debemos incluir los dos medios empleados: el de cable visible y el de cable invisible ó subterráneo.

El primero ha sido muy aplicado en Europa, en América y en la Nueva Zelandia. En la imposibilidad de citar todos los construidos, nos limitaremos á decir que los primeros que se construyeron fueron para las minas de carbón del Norte de Inglaterra y siendo luégo adoptados, siempre con grande éxito, en el Sud de Gales, en otros distritos mineros y en centros importantes de población para el servicio de viajeros, como en Lión, en Buda, en Kärnelberg (cerca de Viena), etc.



El de Lión, sirve para poner en comunicación la parte baja de la ciudad con la alta de la Croix Rousse; el de Buda, para poner en comunicación esta ciudad con el fuerte de Ofen, en Hungría; y el de Kärnelberg, para facilitar á los vieneses la ascensión al monte de aquel nombre, situado á la orilla del Danubio á unos 5 kilómetros de Viena, encima del cual hay un hermoso parque desde donde se domina la inmensa llanura surcada por aquel caudaloso rio y en la que está edificada la ciudad imperial.

Estos dos últimos ejemplos son los más notables de cuantos se han construido. Los planos inclinados forman un ángulo de 30 grados con el horizontal ó sea una rampa de 57 por 100. Ambos están en recta y tienen dos vías y dos trenes que se mueven simultáneamente; de modo, que cuando uno sube, otro baja, y á dicho fin están enlazados por medio de cables de alambre de acero aplicados á dos tambores situados en la parte superior, movidos por una máquina de vapor horizontal, de modo que el peso muerto se contraresta y solo el peso útil es el que debe subir la máquina, la cual ha de vencer, así mismo, las resistencias pasivas del conjunto.

En algunos casos, se puede utilizar un motor hidráulico para mover el aparato y cuando el agua es abundante se puede también vencer el peso del tren ascendente por medio de un tender que se pone en cada tren y se llena de agua antes de bajar, para vaciarlo, después, antes de que vuelva á subir.

La máquina motriz, puede instalarse en otra parte que en la superior de la rampa, como la de Ofen; pero entonces se complica el sistema y hasta se ha llevado á la práctica el fijar la cuerda por el extremo superior y guiar el tren por medio de una locomotora que llevaba un tambor en el cual se arrollaba ó desarrollaba dicha cuerda. Este medio no ha tenido un éxito tan satisfactorio como el primero.

Para el servicio de explotaciones mineras, se ha ideado otro sistema que consiste: en uno ó más cables sin fin que por su sola presión apoyando encima de pequeños vagones que pasan por una vía férrea los toman, acompañan y abandonan automáticamente ayudados por planos inclinados de poca pendiente que convergen hácia dicho cable ó divergen de él, segun que deban ser tomados ó abandonados por el mismo.

En fin, el sistema de cable subterráneo, es el que en nuestro



humilde concepto se propagará más para el servicio de viajeros en la vía pública y tenemos esta opinión desde que en el año 1875 vimos descrito en el *Engineering* (1) el que se construyó en San Francisco de California para el servicio de tranvías en la calle Clay.

Este sistema se reduce á un cable sin fin movido desde un punto cualquiera del circuito, que corre por debajo del suelo de la calle dentro de un tubo de hormigón ó de madera, en el cual hay de vez en cuando y en cada cambio de dirección, un bastidor de fundición que sostiene una polea por la garganta de la cual pasa el cable. Este tubo se halla situado entre los dos carriles de la vía y tiene una ranura longitudinal de pocos milímetros de anchura, por la cual va resbalando una varilla unida á un tornillo con manubrio fijado en el coche de tranvía y que mueve el conductor para pararlo ó darle movimiento, gracias á cuatro poleitas entre las cuales queda sujeto el cable. Con este sistema se pueden subir toda clase de rampas y recorrer fácilmente cualquier trazado. Un freno que lleva el coche impide que éste se deslice y escape cuando pára el tren en una rampa y se vé obligado á soltar el cable.

La cualidad desfavorable que todos los sistemas de cable tienen, es la rapidez con que se estropea éste, no obstante costar muy caros, lo cual perjudica mucho los beneficios de la explotación.

En el *Engineering*, citado, se están actualmente publicando unos artículos referentes á este asunto, en los que, además de la descripción de una tranvía de esta clase construida últimamente en Highgate, se dá una reseña histórica de la tracción realizada por cables.

V.—Trazado.

Cálculo del tráfico probable de un trazado.—El trabajo más difícil del ingeniero al proyectar un ferro-carril, es la elección del trazado más conveniente para el tráfico que dará la comarca ó localidad que deba servir. Lo primero que al efecto debe procurarse son datos de la producción y del consumo de ésta, cuidando

(1) Número correspondiente al 14 de Mayo pág. 402.



de que sean verídicos, pues, en España sobre todo, los municipios y juntas, ó ligas y demás corporaciones más ó ménos conocedoras de ellos tienen gran repugnancia en darlos, porqué temen que sean pié para aumentar los impuestos ó crear otros nuevos. Obtenidos estos datos y conocido el censo de las poblaciones que se han de atravesar, ya es fácil deducir qué corrientes de tráfico se establecerán tanto para subvenir á las necesidades de la comarca por medio de los artículos de que carece como para extraer los que le sobran de su producción, no perdiendo de vista nunca que las poblaciones poseen muchas veces elementos latentes de vida y prosperidad que surgirán y adquirirán desarrollo entonces que habrá en su auxilio comunicaciones rápidas y baratas. No deben tampoco hacerse cuentas ilusorias, que si luégo resultan prácticamente fallidas pueden ser causa de que la vida de la compañía sea menguada y miserable durante algunos años y motivo de segura ruina del ferro-carril.

Cuando se trata de hacer un ante-proyecto, en otros países donde los datos estadísticos son más conocidos, se calculará el número de viajeros, partiendo del principio de que cada uno efectúa de 4 á 9 viajes, 6'5 por término medio, al año, y las estaciones dan 2'10 toneladas de mercancías por habitante en igual intervalo de tiempo. De manera, que si admitimos para una línea de interés local, 4 viajeros y 2 toneladas de mercancías por habitante y suponemos la tarifa de viajeros 0'058 pesetas por kilómetro y la de mercancías 0'093 pesetas por tonelada para la misma longitud, el producto bruto kilométrico por habitante será

$$4 \times 0'058 + 2' \times 0'093 = 0'418 \text{ pesetas.}$$

Y el producto kilométrico total de la línea se obtendrá multiplicando este resultado por el número de habitantes de toda la región de que se trate. A este resultado, empero, deberá añadirse todavía el producto bruto que según el cálculo proporcionarán las industrias especiales ó explotaciones forestales ó mineras que deban nacer de la existencia del ferro-carril.

Mr. Jules Michel ha expresado en fórmulas las anteriores consideraciones, traduciendo al propio tiempo el principio siguiente: «El tráfico, dice, es la suma de los productos de las expediciones



y de las llegadas multiplicadas por el recorrido medio de cada viajero y de cada tonelada de mercancías»; es decir,

$$T = \frac{2\,\Sigma\,(V + t)\,d}{l}$$

en la cual

T, representa el tráfico;

V, el número de viajeros;

t, la semi-suma de las toneladas, expedidas y recibidas por cada estación;

d, la distancia de esta estación al orígen del empalme de la línea;

l, la longitud total de la línea;

Σ, característica que indica la suma de los productos del tráfico V y t por las distancias, y esta suma se multiplica por 2 para atender á la ida y á la vuelta.

En esta fórmula se desprecia el tráfico de las estaciones intermedias entre sí, lo cual es poco erróneo para poblaciones pequeñas. V y t se determinan por medio de los coeficientes 6'5 y 2 que hemos admitido ò los que según la riqueza de la localidad se crean más apróximados y el número de habitantes de cada estación.

También se puede suponer la población de la comarca atravesada, condensada en su centro de gravedad, (permítasenos la frase), y se determina la distancia del mismo al orígen del empalme y entónces dá el producto bruto kilométrico la fórmula

$$K = g\,\Sigma\,H\,(2\,m \times p + 2n\,p')$$

en la cual, g, representa esta distancia, m y n los coeficientes aplicables respectivamente á viajeros y mercancías; p y p' los precios netos (exentos de impuestos del Estado) de viajeros y mercancías por kilómetro y $\Sigma\,H$ el número de habitantes.

Suponiendo g los $\frac{2}{3}$ de la longitud total y los valores de m, n, p, p' admitidos antes, tendremos para una comarca de 12,000 habitantes que $K = \Sigma\,H\,0'5573$; esto es, que en un país pobre el producto kilométrico será en pesetas los 0'5573 del número total de habitantes.



Pero, si este sistema es erróneo, aquí en España sería arriesgado, porque los datos prácticos referidos no tienen exacta aplicación y solo en casos muy urgentes podrían utilizarse; sin embargo, los resultados serían tal vez algo aproximados, tomando la mitad ó las dos terceras partes de los que obtienen los franceses, según fuera más ó ménos poblada la región que atravesara el trazado, ya que es indudable que la actividad y la vida de toda comarca es proporcional, por regla general, al número de habitantes y en España tenemos un censo muy diferente del de Francia.

También puede, en ciertos casos, juzgarse del tráfico futuro, tomando por ejemplo el obtenido en otras poblaciones ó comarcas análogas servidas ya por ferro-carriles y de los cuales se conozcan sus estadísticas por los datos que estos mismos ferro-carriles puedan proporcionar.

Determinación de la clase de ferro-carril más conveniente á una comarca.—Obtenido el tráfico probable del ferro-carril en proyecto y fijadas las tarifas de viajeros y mercancías en armonía con las que rigen en los ferro-carriles inmediatos, no dejando de aprovechar la falta de competencia ó concurrencia económica cuando no la haya, sin que esto quiera decir que se adopten tipos muy elevados que perjudiquen al país y aún al mismo ferro-carril, fácilmente se podrá deducir el rendimiento probable, y de aquí la clase de ferro-carril que podrá construirse. Nunca encareceremos bastante la importancia que tiene la elección, porque pasa con un ferro-carril, que no es otra cosa que una máquina cuyos órganos deben obedecer á ciertos principios de cinemática y de resistencia con la mayor armonía posible, lo que pasa con toda máquina, que solo trabaja en buenas condiciones y dá excelentes productos cuando lo hace dentro de los límites para los cuales ha sido calculada. Véase sino, ¿qué le sucede á una máquina de vapor, por ejemplo, cuando trabaja desarrollando solo 10 caballos de vapor siendo de 40, ó haciendo 100, que es más frecuente que lo primero?; que en ambos casos el caballo de vapor cuesta mucho más caro de lo que costaría si la máquina trabajara haciendo sus 40 caballos normales.

Para conseguir buen acierto, siempre que no se trate de una línea principal cuyo ancho de vía y máximas pendientes son obligadas por lo dicho antes, se harán varios tanteos, no solo



para averiguar el camino más conveniente sino para precisar los detalles de este camino y determinar el coste de vía ancha y de vía estrecha y las rampas máximas que se podrán adoptar.

Una línea de vía estrecha, y al hablar de la vía estrecha nos referimos siempre al ancho de un metro, cuesta mucho más barata de construcción que una vía de ancho ordinario; porque si bién la economía en la construcción de edificios puede ser la misma para ambos anchos, no lo es la que resulta de la construcción de tageas, alcantarillas, pontones, puentes, muros de sostenimiento, etc., aún cuando se parta de un mismo sistema de construcción en esta clase de obras, y mucho ménos la obtenida en los terraplenes, desmontes, túneles y en la vía misma y en el material fijo. De modo que la economía resulta siempre notabilísima tanto en la *infrastructura* como en la *superstructura* del ferro-carril.

La relación entre ambos costes varía mucho y esto hace, aparte del apasionamiento que los ingenieros tienen por uno ú otro sistema, que miéntras unos aprecian la economía en un tercio del valor de la vía ancha, otros aseveran que la estrecha solo cuesta un tercio y hasta solo un cuarto de aquella.

La línea de Calais á Anoires costó solo 42,500 francos el kilómetro ó sea el $\frac{1}{5}$ de la línea francesa más barata con todo y no tener rampas de más de 1 y $^1/_2$ por 100. El general Palmer, nombrado ya, dijo que en la línea de de Denver á Rio Grande, se obtuvo una economía de 37 y $^1/_2$ por 100 construyéndola estrecha, sin embargo de la cual, dice, su capacidad es tan grande como si hubiese sido de vía ancha. En Italia, según el erudito trabajo del Sr. Alzola, el coste de las 4 categorías de las líneas italianas decretadas por la ley de 29 de Julio de 1879, en construcción ó en estudio definitivo son los de la tabla siguiente:



ESTADO DE LA RED COMPLEMENTARIA DE ITALIA	1.ª categoría Vía ancha Carriles de 36k.	2.ª categoría Vía ancha Carriles de 36k.	3.ª categoría Vía ancha Carriles de 17,6k	4.ª categoría Vía ancha Carriles de 21k.	TOTAL.
LINEAS DECRETADAS POR LA LEY					
Longitud prevista, Kilóms.	1,153	1,308	2,070	1,489	6,020
Coste calculado por Kilómetro, pesetas. . . .	373,000	226,400	157,000	103,100	201,000
LINEAS EN ESTUDIO DEFINITIVO					
Longitud, Kilóms. . . .	990	1,162	1,349	103	3,604
Coste por Kilóm. pesetas..	377,700	215,500	160,000	108,600	236,200
LINEAS EN CONSTRUCCION YA CONTRATADAS					
Longitud Kilóms. . . .	336	451	532	46	1,365
Coste por Kilóm. pesetas..	457,000	20,500	97,000	82,000	221,000

De la cual se deduce un ahorro á lo ménos de un tercio, y decimos á lo ménos, porqué no sería extraño fuese mayor si se comparasen dos trazados de una misma línea, pues, las de vía estrecha generalmente se destinan á terrenos montañosos que necesariamente han de salir más caros.

Mr. Fairlie, el gran partidario de los de vía estrecha, inventor de la locomotora que lleva su nombre, dijo en un discurso pronunciado en el Canadá, que el coste de aquella era la cuarta parte del de la ancha, y por último Mr. Spooner, ingeniero del conocido ferro-carril de vía estrecha de Festinioge en su obra «Narrow Gauges Railways,» manifiesta que la economía realizada en adquisición de terrenos, movimientos de tierras, puentes y vía (sin incluir el material móvil) es de 37 por 100 adoptando una vía de 0.^{m} 75 en vez de una vía de 1.^{m} 65; de manera, dice, que si en vez de esta última dimensión se hubiese adoptado la primera en los ferro-carriles anchos construidos en la India inglesa, se hubiera ahorrado la enorme suma de 19 millones de libras esterlinas.

De todo lo cual deducimos, refiriéndonos á nuestra nación y teniendo en cuenta lo accidentado del terreno, así como el mayor



ancho que nuestra vía normal tiene con respecto al de las demás líneas extranjeras, que apróximadamente se puede calcular, que: *el coste de un ferro-carril de vía ancha resultará á lo ménos doble del de una vía de metro.*

Estudio de los perfiles económicos.—También debe tenerse cuidado, al adoptar el perfil longitudinal, de no establecer contrapendientes que anulen el efecto de las rampas, de modo, que la locomotora después de haber subido anhelosa y jadeante hasta las más elevadas mesetas de una montaña, se vea obligada á descender de nuevo, silenciosa como apenada de ver que el trabajo que para ascender empleara se destruya luégo para tener que subir nuevamente malgastando el negro y precioso alimento con que mantiene la actividad de sus ardientes pulmones, y se destruya, quizás por la poca previsión del ingeniero que en vez de proyectar un perfil general de la línea formado de una sucesión de rampas hasta el cúspide de la mayor divisoria y otra sucesión de pendientes después de alcanzarla, se haya contentado con una línea en zig-zag, digna fotografía de los dientes de una sierra.

No quiere esto decir, que en ciertos casos no sea indispensable adoptar alguna contrapendiente á fin de no hacer un rodeo que aumente mucho el coste de la línea y aún el gasto de combustible de la máquina; en casos tales, sobre todo tratándose de líneas de poco coste, se podrá tolerar, pero nunca tomarlo por sistema, como en líneas españolas que conocemos, y que á pesar de ser de vía ancha y de mucho tráfico y muy principales, tienen un perfil igual al que criticamos.

Disposición de las rampas.—Las mayores rampas se acumularán en lo posible á un mismo trayecto de la línea y si es indispensable adoptar alguna rampa que exija una máquina especial á doble tracción para salvarla, será preferible aprovechar toda la potencia de que así se disponga, aumentando la rampa todo lo que aquella permita ya para hacer más corto el trayecto desfavorable, ya también para disminuir el coste de construcción. Así por ejemplo, si una locomotora de 20 toneladas de carga útil en una rampa de $0^m,0125$, ó sea de $\frac{1}{80}$, puede remolcar un tren de 160 toneladas de peso comprendida la locomotora misma, como así resulta aplicando la fórmula que dimos en el artículo IV con el coeficiente de



0'10 que corresponde al invierno por razón de la humedad, y nos vemos obligados, por traspasar aquella rampa máxima, á tener que emplear máquinas de más potencia en aquel trayecto, ó doble tracción, como en este último caso, v. g., las dos máquinas podrán remolcar el tren en una rampa de $\frac{1}{40}$ ó de $0^m,025$: en la generalidad de los casos será más ventajoso adoptar esta rampa ó poco ménos ya que de todos modos se dispone de la fuerza necesaria. Es verdad que las máquinas gastarán tanto más carbón cuanta más fuerza deban desarrollar, pero también el interés del capital ahorrado puede ser aún mayor que este exceso de gasto. Es inútil que digamos de nuevo cuanto conviene, empero, evitar las dobles tracciones y las máquinas especiales, pero en una línea secundaria son perfectamente admisibles cuando así se evitan gastos de primer establecimiento, cuantiosos que puedan comprometer la existencia económica de la Compañía.

En ciertos casos, se podrá aún, admitir alguna rampa que traspase el límite de las máximas adoptadas en el proyecto si de ello ha de resultar un notable beneficio en el coste de la construcción de la línea y si su longitud no traspasa de ciertos límites confiando que la velocidad adquirida por el tren será suficiente para que éste pueda remontarla.

Mr. Charles Gerhardt, ingeniero de la Compañía de los ferrocarriles del Este de Francia, ha hecho un especial estudio de este asunto, el cual ha visto la luz pública en el año 1881 con el título «Principios que se han de seguir en el trazado de las vías férreas para utilizar lo mejor posible la potencia de las locomotoras,» y merece ser conocido, aúnque no sea más que someramente.

Supone la línea dividida en secciones por sus principales estaciones á cuyos perfiles longitudinales llama *perfiles tipos,* que designa por las letras del alfabeto, y están caracterizados por la inclinación de la rampa en *alineación recta* que la máquina puede franquear al *mínimum de velocidad* desarrollando su *máximo esfuerzo,* cualquiera que sea la longitud de dicha rampa. Esta rampa la designa con el nombre de *rampa fundamental* del perfil tipo considerado, y es la que determina la clase de máquinas que en aquella sección se tendrán que usar para arrastrar unos trenes dados ó al revés la carga de tren que una máquina dada podrá arrastrar, deduciéndose de aquí los *baremos* que han de



servir á los servicios de tracción y explotación para fijar la composición de los trenes.

No tiene en cuenta para nada los trenes de viajeros, porqué en ellos, dice, tienen poca influencia las variaciones de perfiles ya que la resistencia que para ellos se admite por tonelada en horizontal es próximamente doble de la de los trenes de mercancías y además deben tener aquellos siempre disponible una notable proporción de su potencia para atender á las eventualidades de afluencia de viajeros, retraso de los trenes en las estaciones, etc. Cree que si un perfil de vía es conveniente para las máquinas de mercancías y permite utilizar completamente su potencia, lo será *á fortiori* para las máquinas que arrastren trenes de viajeros, miéntras que la recíproca no será cierta.

Esto, en los ferro carriles que forman el objeto principal de nuestro trabajo, en los cuales no se emplean grandes velocidades, por lo que conviene utilizar únicamente máquinas con todas las ruedas acopladas, realmente pasa como dice Mr. Gerhardt; pero en líneas principales son necesarias máquinas de viajeros cuyas condiciones especiales requieren el cálculo de otros baremos ó tablas que se pueden hacer de la manera indicada ya.

Cuando las rampas son largas; esto es, de 3 á 4 kilómetros de longitud, la clasificación de los perfiles y la carga que se puede arrastrar á lo largo de los mismos no ofrece dificultad; sin embargo, cuando son de algunos hectómetros solamente, si van precedidas de otras suaves, ó de pendientes, ó de horizontales, pueden los trenes vencerlas á favor de la velocidad adquirida; de manera que pueda prescindirse de ellas al calcular la carga aplicable á aquellos. Esto puede ser de grande utilidad al estudiar un ferro-carril, para aprovechar todas las circunstancias que permitan economía en el coste kilométrico sin perjudicar las condiciones de la tracción.

Veamos, ahora, cómo se pueden determinar las longitudes máximas que dichas rampas, que llamaremos *extraordinarias ó franqueables por empuje*, pueden tener remontadas por los trenes á las velocidades mínimas admitidas, desarrollando las máquinas todo el esfuerzo de que son susceptibles en buenas condiciones de trabajo. Al efecto, y para no complicar por ahora demasiado la cuestión, supondremos que se trata de alineaciones rectas después de lo cual veremos la influencia que en el resultado



pueden tener las curvas, influencia que desde ahora podemos decir es notable cuando están en fuertes rampas sobre todo si son de pequeños radios.

Llamemos l á la longitud de la rampa extraordinaria que se trata de vencer, en línea recta y cuya inclinación es de I milímetros por metro; P, el número de toneladas de peso bruto de un tren; Q el peso de la máquina y tender; v_0 la velocidad con que el tren va á principiar la subida de la rampa, en metros por segundo; v_1 la velocidad con que ha de llegar el tren á la cúspide de la misma.

Las resistencias por tonelada de tren y de la máquina en horizontal que poco á poco van absorviendo la fuerza viva del tren hasta anularla son:

$$r = \alpha + \beta v$$
$$r' = \alpha' + \beta' v$$

fórmulas antiguas deducidas por MM. Veillemin, Guébhard et Dieudonné de sus experimentos en el ferro-carril del Este de Francia citado, para el primer grupo de trenes ó sean los de mercancías que van á ménos de 32 kilómetros por hora y análogas á la que Mr. Scott Russel propuso ya en 1847, solo que no entran en ellas la influencia del viento en razón de ser trenes de pequeña velocidad, en los cuales tiene poquísima influencia.
α y β, son coeficientes prácticos que se estiman por término medio en 2 y 0'18;
α' y β', análogamente se suponen de 5'35 y 0'756;
y v es la velocidad media del tren.

Ahora, según la mecánica racional, el camino recorrido por un móvil sujeto á la acción de una fuerza F viene dado por la ecuación diferencial

$$m\, v\, d\, v = F\, d\, s$$

Luégo, sustituyendo en lugar de m, masa del punto material, el cociente del peso entre la aceleración g debida á la acción de la gravedad; en vez de F, la fuerza, que en este caso será la diferencia entre el esfuerzo en kilógramos, que llamaremos E, susceptible de hacer la máquina y las diferentes resistencias pasi-

vas debidas al tren, al mecanismo motriz y á la rampa; la primera de los cuales en kilógramos será $\alpha + \beta\, v$, la segunda $\alpha' + \beta'\, v$, y la tercera, partiendo del principio reconocido exacto por la práctica y por la teoría, de ocasionar las rampas un aumento de resistencia de 1 kilógramo por tonelada y milímetro de inclinación por metro será $(P + Q)\, I$. Teniendo en cuenta que si las resistencias $(\alpha + \beta\, v)\, P$, $(\alpha' + \beta'\, v)\, Q$, y $(P + Q)\, I$ vienen dadas en kilógramos para la homogeneidad de la expresión será preciso que P y Q del primer miembro se multipliquen por 1000 por ser dadas en toneladas, y por último siendo el espacio s de la fórmula general, representado por l en el presente caso, dicha fórmula se convertirá en la siguiente después de cambiados los signos:

$$\text{(a)}\ldots\ldots - 1000\, \frac{P + Q}{g}\, vdv = \Big[P\,(\alpha + \beta\, v) + Q\,(\alpha' + \beta'\, v) + (P + Q)\, I - E\Big] dl$$

de donde

$$- 1000\, \frac{P + Q}{g}\, vdv = \Big[P\,\alpha + Q\,\alpha' + (P\,\beta + Q\,\beta')\, v + (P + Q)\, I - E\Big] dl$$

dividiendo por $P\,\beta + Q\,\beta'$, será

$$- 1000\, \frac{P + Q}{g\,(P\beta + Q\,\beta')}\, vdv = \Big[\frac{P\,\alpha + Q\,\alpha' + (P + Q)\, I - E}{P\,\beta + Q\,\beta'} + v\Big] dl$$

Suponiendo para simplificar

$$\text{(I)} \qquad X = 1000\, \frac{P + Q}{g\,(P\,\beta + Q\,\beta')}$$

$$\text{(II)} \qquad Y = \frac{P\,\alpha + Q\,\alpha' + (P + Q)\, I - E}{P\,\beta + Q\,\beta'}$$

resulta

$$- X\, vdv = Ydl + vdl$$

Integrando, ahora, entre los límites $v = v_0$ y $v = v_1$ y convirtiendo el logaritmo neperiano en vulgar, después de hecho las reducciones se tendrá

$$\text{(1)} \qquad l = X\left(v_0 - v_1 - Y.\ 2'3\ log.\ \frac{Y + v_0}{Y + v_1}\right)$$



El valor de X depende únicamente de P, y de Q, pero Y depende además de E y de I, lo cual permite resolver dos problemas diferentes, á saber: para una carga de tren dada, P, y para una máquina de peso Q, puede encontrarse la inclinación de la rampa que es susceptible de subir la máquina supuesto que tiene una fuerza de tracción E; y recíprocamente, puede determinarse la fuerza que deberá desarrollar para subir una rampa de I milímetros por metro, conocidos como antes los valores de P y de Q.

La fórmula (1), permite también determinar el valor que deberá tener Y para que l sea infinita; esto es, para que la máquina pueda remontar la rampa por larga que sea, prescindiendo del auxilio que pudiera prestarle la velocidad adquirida.

Para que esto suceda, no hay más que suponer

$$Y + v_1 = 0$$
$$Y = - v_1$$

en cuyo caso el valor de Y establecido antes se convierte en

$$- v_1 = \frac{P \alpha + Q \alpha' + (P + Q) I - E}{P \beta + Q \beta'}$$

ó bien

$$- v_1 P \beta - v_1 Q \beta' = P \alpha + Q \alpha' + (P + Q) I - E$$

(2) $$P (\alpha + \beta v_1) + Q (\alpha' + \beta' v_1) + (P + Q) I - E = 0$$

Expresión del esfuerzo de tracción en función de las resistencias del tren, de la máquina y de la inclinación de la rampa, en velocidad uniforme.

Ahora, si á la inclinación de la *rampa fundamental* de la sección considerada que satisface la ecuación anterior le llamamos I' y se admite con Mr. Gerhard que el esfuerzo E, que la máquina deberá desplegar para vencer la rampa I, por empuje, sea igual al necesario para subir la I', se deducirá el valor de E en función de I' por medio de la ecuación (2) y sustituido después en la expresión de Y conseguirémos introducir en la fórmula (1), que dá la longitud de las rampas franqueables por empuje, la función de la *rampa fundamental* y por consiguiente del perfil longitudinal de la sección á que pertenece.

Entonces se tiene:

(3) $$Y = \frac{(P + Q)(I - I')}{P \beta + Q \beta'} - v_1$$



Si se quieren hacer aplicaciones de las fórmulas que llevamos expuestas, nos valdremos de las (*I*), (1) y (3) sustituyendo en ésta y en la (*I*) los valores de las inclinaciones *I*, *I'* de las rampas extraordinarias de la sección considerada, y de las fundamentales que caracterizan dichas secciones, la cual juntamente con los demás datos v_0, v_1, *P*, *Q*, *r*, *r'*, del problema nos permitirá determinar *X* é *Y* y después *l*.

Aplicándolo á locomotoras de 33 toneladas; con velocidades v_0 y v_1 de 30 kilómetros y 15 respectivamente; suponiendo que el tender pesa 17 toneladas, por lo tanto que $Q=50$ toneladas; y que las cargas por remolcar en cada perfil tipo son *P*, anotadas en el cuadro adjunto correspondientes á la adherencia de invierno, se deducen los resultados expuestos en el mismo:

Perfiles		Carga *P* con adherencia de		RAMPAS EXTRAORDINARIAS vencidas por empuje en alineación recta						
Tipos.	Rampa fundamental	INVIERNO	VERANO							
	Milímt.s	Toneladas	Toneladas							
A	3	460	600	Inclinación *I'* mil.s	3·5	4	5	6	7	8
				Longitud *l* metros	2710	1750	1050	770	590	490
B	4	420	530	Inclinación *I'* m/m	4·5	5	6	7	8	9
				Longitud *l* metros	2680	1750	1140	750	590	480
C	5 5	390	480	Inclinación *I'* m/m	6	7	8	9	10	11
				Longitud *l* metros	2660	1300	870	650	510	440
D	7	350	420	Inclinación *I'* m/m	8	9	10	11	12	13
				Longitud *l* metros	1720	1040	750	580	480	410
E	9	300	370	Inclinación *I'* m/m	10	11	12	13	14	15
				Longitud *l* metros	1690	1030	740	580	480	410
F	11	240	310	Inclinación *I'* m/m	12	13	14	15	16	—
				Longitud *l* metros	1650	1010	730	580	470	—
G	13	190	260	Inclinación *I'* m/m	14	15	16	17	18	—
				Longitud *l* metros	1610	990	720	570	470	—
H	16	160	220	Inclinación *I'* m/m	17	18	19	20	—	—
				Longitud *l* metros	1580	980	710	570	—	—
I	19	140	190	Inclinación *I'* m/m	20	22	24	—	—	—
				Longitud *l* metros	1560	710	460	—	—	—
K	22	120	160	Inclinación *I'* m/m	24	26	28	—	—	—
				Longitud *l* metros	950	560	390	—	—	—
L	26	100	120	Inclinación *I'* m/m	28	30	32	—	—	—
				Longitud *l* metros	940	550	390			

Del exámen del precedente cuadro se deduce claramente cuanto influye en la longitud de la rampa extraordinaria la inclinación de la misma, disminuyendo aquella rápidamente á medida que ésta aumenta.

Dicha longitud, para la inclinación I', es en el supuesto de que el tren principia la rampa con una velocidad de 30 kilómetros por hora, ó v_0, en general, que corresponde á la velocidad máxima exigida para las rampas fundamentales del perfil de la sección considerada y esta máxima velocidad sólo se podrá obtener en condiciones determinadas. Si la rasante anterior á la rampa extraordinaria es una pendiente ó una horizontal no habrá en ello inconveniente alguno; pero, si es rampa también, será preciso que no pase de ciertos límites como vamos á probar en breves términos, por las siguientes proposiciones.

1.ª «Si la rampa anterior á la *extraordinaria* es la mayor que permite correr al tren en aquella sección á la velocidad máxima, la inclinación de esta rampa que llamaremos *rampa límite del máximo de velocidad* se determinará así»:

Marchando la máquina con velocidad constante su fuerza de tracción E, viene representada, como ya hemos dicho, por la expresión (2), mas si representamos por I_m la rampa, en milímetros por metro, este límite se representará de este modo

$$(4) \qquad E = P(\alpha + \beta v_0) + Q(\alpha' + \beta' v_0) + (P + Q) I_m$$

y como por experiencias hechas por los experimentadores antes citados resulta que el máximo trabajo por segundo para las máquinas de 33 toneladas que nos ocupan es de 300 caballos de vapor ó sea un esfuerzo de 2700 kilógramos, en el ferro-carril del Este, y como además en el ferro-carril de Orleans, se atribuye á la potencia de las máquinas hasta 350 caballos, si el tren no es muy largo, lo que corresponde á un esfuerzo de 3150 kilógramos; y admitiendo el límite primero para las máquinas que circulan en los perfiles tipos A y B, y el segundo en los demás perfiles, las dos expresiones siguientes nos darán los valores que buscamos y de los cuales se sacará la tabla que seguirá á las mismas, mediante la sustitución de los valores correspondientes á cada perfil.

$$2700 = P(\alpha + \beta v_0) + Q(\alpha' + \beta' v_0) + (P + Q) I_m$$



de donde, para los perfiles A y B

$$(5) \qquad I_m = \frac{2700}{P+Q} - \frac{P\alpha + Q\alpha'}{P+Q} - \frac{P\beta + Q\beta'}{P+Q} v_0$$

y para los restantes

$$(6) \qquad I_m = \frac{3150}{P+Q} - \frac{P\alpha + Q\alpha'}{P+Q} - \frac{P\beta + Q\beta'}{P+Q} v_0$$

PERFILES tipos	RAMPAS fundamentales I′	RAMPAS límites de velocidad Im	PERFILES tipos	RAMPAS fundamentales I′	RAMPAS límites de velocidad Im
	milímetros	milímetros		milímetros	milímetros
A	3	1‘00	G	13	7‘90
B	4	1‘40	H	16	9‘60
C	5‘5	2‘70	I	19	10‘90
D	7	3‘30	K	22	12‘10
E	9	4‘40	L	26	14‘80
F	11	6‘00			

Del exámen de este cuadro, cuyos valores I_m, al parecer, no se diferencian en un 5 p°/₀ de los resultados de la experiencia se deduce en términos prácticos que: «la *rampa límite del máximum de velocidad* no debe exceder del cuarto de la inclinación de la *rampa fundamental* en los perfiles de tipos A y B, y de la mitad en los demás.»

2.ª La determinación de la longitud de la rampa débil que debe preceder á una rampa franqueable por empuje se obtendrá por el mismo procedimiento que obtuvimos la de estas últimas ó rampas extraordinarias, estableciendo la ecuación que nos dá el teorema de las fuerzas vivas, en esta forma :

$$1000 \frac{P+Q}{g} v dv = \Big[E - (P\alpha + \beta v) + Q(\alpha' + \beta' v) + (P + Q) \times I \Big] dl$$



y suponiendo

$$(7) \qquad Z = \frac{E - (P\alpha + Q\alpha') - (P+Q)I}{P\beta + Q\beta'}$$

verificando operaciones, integrando y simplificando resulta:

$$(8) \qquad l = X\left(v_0 - v_1 - Z\ 2'3\ log\frac{v_0 + Z}{v_1 + Z}\right)$$

en la cual v_0 y v_1 son respectivamente, en este caso, las velocidades del tren al fin de la rampa I_m y al principio de la misma y E tiene por valor 2700 *y* 3150 para los casos supuestos.

3.ª Las rampas límites del máximo de velocidad no permiten adquirir al tren su velocidad máxima si no la posee ya, y por consiguiente no deberán preceder á una rampa *extraordinaria* franqueable por empuje á no ser que ellas á su vez estén precedidas de una rasante de menor inclinación en la cual el tren pueda adquirir la velocidad máxima de 30 kilómetros por hora, como venimos suponiendo.

Para probar esto no hay más que sustituir el valor de la rampa del máximo de velocidad I_m dada por la fórmula (5) en la (7) del valor de Z y se tendrá:

$$\frac{E-(P\alpha+Q\alpha')+(P+Q)\left[\frac{2700}{P+Q}-\frac{P\alpha+Q\alpha'}{P+Q}-\frac{P\beta+Q\beta'}{P+Q}v_0\right]}{P\beta+Q\beta'}=Z$$

de donde simplicando

$$v_0 = Z$$

cuyo valor sustituido en la fórmula (8) dará

$$l_m = \infty$$

que nos dice, que: «para que adquiera la velocidad máxima debe tener la rampa límite una longitud infinita, demostrando lo que hemos sentado antes, y motivando la denominación de rampa límite dada á la misma.»

De aquí se sigue la proposición:

4.ª «Las rampas extraordinarias franqueables por empuje »deben estar precedidas de pendientes, horizontales ó rampas de »menor inclinación que las límites calculadas como las del cua-



»dro último y su longitud se determinará por la ecuación (8), »cuando son emprendidas con el mínimum de velocidad.»

En el caso de que al principiar la rampa que debe preceder á la que (se ha de franquear por empuje, lleve el tren una velocidad que llamaremos v, mayor que la mínima v_1 la longitud de dicha rampa deberá ser tanto menor cuanto mayor sea la diferencia de ambas velocidades y se podrá admitir que la referida longitud, supuesta l' vendrá dada por la expresión

$$(9) \qquad l' = l \frac{v_0 - v}{v_0 - v_1}$$

en la cual l es la longitud calculada por la fórmula (8).

Y 5.ª Si en las inmediaciones de la parte baja de una rampa débil, calculada como queda dicho, hay una estación ó punto de parada cualquiera se determinará la longitud que deberá tener para que el tren pueda alcanzar la mayor velocidad haciendo $v_1 = o$ en la repetida fórmula (8).

En este caso resultará:

$$(10) \qquad l = X \left(v_0 - Z\, 2'3 \log \frac{Z + v_0}{Z} \right)$$

Influencia de las curvas y curvas límites.—Ocupémonos un poco, ahora, de la influencia que las curvas pueden tener en la subida de las rampas.

Muchísimo podríamos decir aquí respeto á esta influencia porque se han hecho muchísimas experiencias años há; pero, no diríamos nada moderno. Por esta razón nos proponemos solo dar un pequeño complemento de la influencia de las rampas siguiendo las ideas de Mr. Gerhardt, con respecto á la vía ancha, sin perjuicio después de decir algo de lo que á nosotros se nos ofrece con relación á las vías estrechas y á la vía española.

El radio de las curvas es, en esta influencia, uno de los principales factores, y luégo debe tenerse en cuenta el número de vehículos del tren y la velocidad del mismo, todo lo cual se atiende en la fórmula

$$(11) \qquad c = 1000 \frac{V}{R^2} n$$



deducida por el camino de hierro de Orleans en la que
c, es la resistencia del tren en kilógramos,
R, el radio de la curva de la vía considerada en metros,
V la velocidad en kilómetros por hora,
n el número de vehículos que siguen despues del tender.

Esta fórmula nos dice:

«Que en un *perfil tipo*, la resistencia de una curva es proporcional á la velocidad de la marcha del tren, y puesto que ésta pueda variar de 15 kilómetros á 30 aquella puede ser de 1 á 2.»

Y por ella y para los datos principales sentados ya, Mr. Gerhardt ha calculado el cuadro siguiente, después de hacer desaparecer n por una relación empírica entre la carga y la rampa fundamental I'; de modo que la fórmula (11) se convierte en esta otra

$$c = 15000 \frac{V}{R^2 I'} \qquad (12)$$

PERFILES	A		B		C		D		E		F		G		H		I		K		L	
RADIO de las curvas	Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad		Velocidad	
	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K	15 K	30 K.
metros																						
2000	0·20	0‘40	0‘15	0‘30																		
1500	0‘35	0·70	0‘25	0·50																		
1000	0‘75	1·50	0·55	1‘10	0‘40	0‘80	0·30	0·60	0‘25	0‘50												
900	0·90	1·80	0‘70	1‘40	0‘50	1·00	0‘40	0‘80	0·30	0‘60	0‘25	0‘50										
800	1‘20	2‘40	0·90	1·80	0‘65	1·30	0·50	1‘00	0‘40	0‘80	0‘30	0‘60	0‘25	0‘50								
700	1‘55	3‘10	1‘15	2·30	0‘85	1‘70	0‘65	1‘30	0·50	1‘00	0‘40	0‘80	0‘35	0‘70	0‘30	0·60						
600	2‘10	»	1‘55	3‘10	1‘15	2‘30	0·90	1‘80	0·70	1·40	0‘55	1‘10	0·50	1·00	0‘40	0·80	0‘35	0·70	0·30	0‘60		
500	3‘00	»	2‘25	4‘50	1‘65	3·30	1·30	2‘60	1‘00	2·00	0‘80	1‘60	0·70	1‘40	0‘55	1‘10	0‘45	0‘90	0‘40	0·80	0‘35	0‘70
400	4‘70	»	3‘50	»	2‘55	5‘10	2‘00	4‘00	1‘55	3‘10	1‘30	2‘60	1‘10	2·20	0‘90	1‘80	0‘75	1‘50	0‘65	1‘30	0‘55	1‘10
300	8‘30	»	6‘25	»	5‘00	»	3‘60	»	2‘80	5‘60	2‘25	4‘50	1‘90	3‘80	1‘55	3‘10	1‘30	2‘60	1‘15	2‘30	0‘95	1‘90

Teniendo en cuenta, además, que según la fórmula (12): «la »resistencia que una curva determina es tanto menor, á igual»dad de velocidad, cuanto mayor sea la rampa fundamental del »perfil tipo considerado y en proporción de la inclinación del »mismo,» se podrá determinar, por la tabla anterior, la magnitud de los radios de las curvas que ofrecerán la misma resistencia yendo á igual velocidad que las determinadas ya para un perfil tipo cualquiera, pues no habrá más que expresar la proporcionalidad anunciada por la fórmula

$$(13) \qquad R = R' \sqrt{\frac{I''}{I'}}$$

en la que R' son los radios conocidos é I'' las rampas á que estos correspondan, según el cuadro.

Así: supuesto que en el perfil A cuya rampa fundamental es de 3 $^m/_m$ los radios de 2000 metros ofrecen una resistencia de $0^k,20$ (véase el cuadro) ¿cuál será el radio que en el perfil B, cuya rampa fundamental es de 4 $^m/_m$, ofrecerá la misma resistencia? Tendremos

$$R = 2000 \sqrt{\frac{3}{4}} = 1732 \text{ metros.}$$

Las rampas del límite de velocidad, las franqueables por empuje y las pequeñas que preceden á unas ú otras para que la velocidad inicial de las primeras sea la máxima fijada para los trenes, deberán ser más pequeñas que las encontradas por las fórmulas que hemos visto para las alineaciones rectas y esta disminución será determinada por la resistencia c que las curvas ofrecen, ya que hemos admitido, que la resistencia que una rampa ofrece viene dada en kilógramos por la inclinación de la misma en milímetros por metro; de manera, que llamando i á la nueva rampa admisible en curva é I á la correspondiente en recta será

$$i = I - c$$

Así: siendo 22 $^m/_m$ la inclinación de la rampa fundamental del perfil de tipo K y 1'15 la resistencia en el mismo, según el últi-



mo cuadro, para las curvas de 300 metros de radio, la máxima rampa de dicho perfil deberá ser tan solo de

$$22 - 1'15 = 20'85 \text{ milímetros}$$

para que no ofrezcan mayor resistencia de la propuesta.

Estos números que han sido elegidos entre los más exagerados de las tablas tanto por la inclinación como por el radio, dicen claramente la escasa influencia que las curvas ejercen en la resistencia de los trenes, por cuya razón no hacen mención de ellas algunos ingenieros sino en radios de ménos de 300 metros que la aprecian en 1'10 kilógramos por tonelada, ya que en los demás casos dicen, la pequeña influencia que puedan tener entra en las variaciones que las condiciones atmosféricas el engrase y otras causas pueden ejercer. Sin embargo, los cálculos de Mr. Gerhardt prueban que no es tan despreciable esta influencia sobre todo para las rampas especiales que venimos considerando y vamos á dar una idea sin detenernos en muchos detalles.

Suponiendo que las curvas que no ofrezcan una resistencia de $0^k,25$ por tonelada no tienen influencia sensible en la resistencia del tren y llamando *curvas tipos* aquellas que no den lugar á una resistencia de un kilógramo; con el auxilio de la tabla última y de la fórmula (13) se deduce facilmente la tabla siguiente:

PERFILES TIPOS	RAMPAS fundamentales	RADIOS de las curvas sin influencia	RADIOS de las curvas tipos	PERFILES TIPOS	RAMPAS fundamentales	RADIOS de las curvas sin influencia	RADIOS de las curvas tipos
A	3 m/m	1800 mts.	900 mts	**G**	13 m/m	860 mts.	430 mts.
B	4 »	1560 »	780 »	**H**	16 »	780 »	390 »
C	5'5 »	1320 »	660 »	**I**	19 »	720 »	360 »
D	7 »	1180 »	590 »	**K**	22 »	660 »	330 »
E	9 »	1040 »	520 »	**L**	26 »	600 »	300 »
F	11 »	960 »	470 »				

De la cual se desprende lo que sabíamos, á saber: «que cuánto mayor es la rampa más pequeños han de ser los radios de las curvas, para que éstas influyan en la resistencia de los trenes.»



Para determinar la longitud que podrá tener una rampa vencible por empuje observemos que en este caso $I' = i + c$ lo cual puesto en lugar de I en la fórmula (a', sustituyendo el valor de la fórmula (12) en la que representamos por K el coeficiente numérico, é integrando se obtendrá análogamente á los valores hallados antes

$$l = X' \left[v_0 - v_1 - Y' \, 2'3 \, log. \frac{Y' + v_0}{Y' + v_1} \right]$$

en la que

$$X' = 1000 \frac{P + Q}{g} \frac{1}{P \, 6 + Q \, 6' + (P + Q) \frac{K}{R^2 \, I'}}$$

$$Y' = \frac{(P + Q)(i - I') - v_1 (P \, 6 + Q \, 6')}{P \, 6 + Q \, 6' + (P + Q) \frac{K}{R^2 \, I'}}$$

Para hacer ver cuán rápidamente disminuye la longitud de las rampas franqueables por empuje cuando están en curva en toda su longitud, ha sido calculado el siguiente cuadro del cual se deduce, que las curvas que no tienen influencia sobre las rampas fundamentales reducen de casi la mitad la longitud de las franqueables por empuje, cuando la inclinación es de más de una unidad mayor que la de la fundamental, y del tercio cuando esta diferencia alcanza á dos ó tres unidades. Obsérvase, también, que si la longitud de la curva no abarca todo la longitud de las rampas la reducción de longitud de éstas será más pequeña y podrá determinarse viendo á que longitud de rampa en línea recta equivale la rampa en curva que se deba considerar y añadirse luégo á ésta la diferencia de longitudes de aquella con la total. Obsérvase, en fin, que según la posición que la curva ocupe en una rampa de mayor longitud que ella, influirá más ó ménos en la longitud total admisible; puesto que, en dichas rampas suponemos, que entra el tren con el máximo de velocidad y sale con el mínimo de la misma, y como el coeficiente de resistencia de la curva varía con la velocidad, será preferible, siempre que á ello no se oponga nada, situar las curvas en la parte alta de las rampas.



PERFILES TIPOS	RAMPA fundamental	RAMPA franqueable por empuje	TRAZA horizontal.	LONGITUD de la rampa franqueable
	m. m.	m. m.	metros	mets.
A	3	4	Recta	1750
			Cur. de R.=900	910
			» » =600	570
		5	Recta	1050
			Cur. de R.=900	670
			» » =600	470
		6	Recta	770
			R.=900	540
B	4	5	Recta	1750
			Cur. de R.=700	820
			» » =500	540
		6	Recta	1140
			Cur. de R.=700	620
			» » =500	450
		7	Recta	750
			C. R.=700	510
C	5'5	6	Recta	2860
			Cur. de R =700	1170
			» R.=500	770
		7	Recta	1300
			Cur. de R =700	800
			» R.=500	590
D	7	8	Recta	1720
			Cur. de R.=600	920
			» » =400	570
		9	Recta	1040
			Cur. de R.=600	680
			» » =400	470
		10	Recta	750
			Cur. de R.=600	540
E	9	10	Recta	1690
			Cur. de R.=600	1010
			» » =400	670
		11	Recta	1030
			Cur. de R.=600	730
			» » =400	530
		12	Recta	740
			Cur. de R.=600	570
F	11	12	Recta	1650
			Cur. de R.=500	870
			» » =400	820
		13	Recta	1010
			Cur. de R.=500	680
			» » =400	580
		14	Recta	730
			Cur. de R.=500	550
G	13	14	Recta	1610
			Cur. de R.=500	980
			» » =300	580
		15	Recta	990
			Cur. de R.=500	710
			» » =300	470
		16	Recta	720
			Cur. de R.=500	560
H	16	17	Recta	1580
			Cur. de R.=500	1040
			» » =300	680
		18	Recta	980
			Cur. de R.=500	740
			» » =300	520
		19	Recta	710
			Cur. de R.=500	580
I	16	20	Recta	1560
			Cur. de R.=400	940
			» » =300	720
		22	Recta	710
			Cur. de R.=400	540
			» » =300	460
		24	Recta	460
			Cur. de R.=400	380
K	22	24	Recta	950
			Cur. de R.=400	710
			» » =300	590
		26	Recta	560
			Cur. de R.=400	470
			» » =300	410
		28	Recta	390
			Cur. de R.=400	340
L	26	28	Recta	940
			Cur. de R.=400	730
			» » =300	620
		30	Recta	550
			Cur. de R.=400	470
			» » =300	420
		32	Recta	390
			Cur. de R.=400	340

En el artículo III nos ocupamos ya del radio mínimo que convenía dar á las curvas, no bajo el punto de vista de su resisten-



cia á la tracción, sino consideradas como causa de descarrilamientos; pero tal vez, lo hicimos con demasiada sobriedad y este temor nos obliga á decir algunas palabras más antes de dejar este asunto.

Dijimos, entónces, cuales radios más pequeños se podían adoptar en plena vía en los ferro-carriles de un metro de ancho y de ancho ordinario y fijamos para los primeros 80 metros y para los segundos 250 metros, tratándose siempre de ferro-carriles de poco tráfico que no han de marchar á grandes velocidades. Sin embargo, estos limites no son absolutos y en algunos casos escepcionales convendrá traspasarlos. En las inmediaciones de poblaciones, en estaciones y en pasos muy difíciles de montañas empleando material móvil ordinario, se podrá descender en los primeros hasta 40 metros y en los segundos hasta 180, pero siempre al pasar por estos puntos especiales deberá obligarse á marchar los trenes con precaución para evitar los efectos desgraciados de un descarrilamiento ocasionado por algún defecto del material móvil, como: una rueda mal calada, un eje torcido, unos coginetes sin juego, etc., ó de la vía misma: una falta ó un exceso de ancho de vía, un garrote notable, con defecto de nivelación, un obstáculo puesto encima de los carriles, etc., etc.

Si todavía hay que descender á límites más bajos preciso es emplear material móvil especial, y no se crea, que, aún entra en la denominación de material ordinario algunos vagones que tienen una longitud mayor que la generalmente empleada entre ejes y no sería prudente admitirlos á circular en estas vías de radios tan pequeños. Tal sucede por ejemplo con los vagones de 12 toneladas de carga que adquirió pocos años atrás la compañía de Tarragona á Barcelona y Francia y que tienen una separación de ejes de 3,70 metros, porqué por causa de dicha separación, se ensanchan las curvas de 200 metros por las cuales pasan en algunas estaciones: de modo que solo en las estaciones mismas y aún tomando la precaución de dar un exceso de ancho de 18 milímetros á la vía se podría tolerar la existencia de tales curvas.

Ahora, tratándose de desvios donde no deban entrar trenes, sino tan solo vagones movidos á mano uno á uno ó por medio de caballerías, hemos llegado á emplear con éxito, con material móvil ordinario y vía ancha de $1^{m},67$, radios de 80 metros, y en la



vía de metro análogamente se podrán emplear radios de 30 metros cuyos límites no aconsejaríamos traspasar ya.

Influencia del ancho de la vía en la resistencia ofrecida por las curvas.—Todos los cálculos y consideraciones que anteceden están basadas en la vía de $1^m,44$ de ancho, y como quiera que los anchos que recomendamos para nuestros ferro-carriles de poco coste, salvo determinadas excepciones, son: el ordinario de la vía española, 1'672, y el de 1^m, contados uno y otro entre carriles, es evidente que las experiencias hechas con el de $1^m,44$ no serán exactamente aplicables á los de las que nos ocupan.

Supuestas iguales todas las condiciones que puedan influir en la resistencia de los trenes por el paso de las curvas, como son: la conicidad de las llantas, el juego de las pestañas de las mismas, la separación de los ejes, el juego lateral de las ruedas, etcétera, excepto el ancho de la vía, que es un factor importante, se ha observado que dicha resistencia es mayor cuanto mayor es dicho ancho, si bien hay que añadir que esta diferencia es pequeña.

La razón se comprende desde luégo: si $A\ B\ C\ D$ es una vía ancha (fig. 1 lám.ª I) y ab y cd los dos ejes de un vehículo que se mueve en ella, resultará, que miéntras las ruedas b y c recorren el arco exterior $A\ B$ las a y d deberán recorrer el interior $C\ D$ y fijas como están en unos mismos ejes aquellas y éstas, deberán resbalar las de un lado más que las del otro de una magnitud igual á la diferencia de longitud de estos arcos. Llamando ρ al radio medio, R al mayor, R' al menor, a el ancho de la vía y n el número de grados que abraza un trozo de vía cualquiera, la expresión

$$\delta = 2\,\pi \left(\rho + \frac{a}{2}\right) \frac{n}{360} - 2\,\pi \left(\rho - \frac{a}{2}\right) \frac{n}{360}$$

dará la diferencia de longitudes de los dos carriles en el trozo considerado. De donde se deduce

$$\delta = 0'01744\ na$$

Supongamos ahora, que $E\ F\ G\ H$ es una vía estrecha del mismo radio que la anterior y colocada concéntrica con ella; admi-



tamos que no varía la longitud del vagón, ó mejor dicho, la separación entre los ejes y que a' sea el ancho de dicha vía, y análogamente que en el caso anterior obtendremos la diferencia de longitudes entre los carriles exterior é interior para un arco de n grados por la expresión

$$\delta' = 0'01744\,na'$$

Es decir, que estas cantidades de resbalamiento serán proporcionales á los anchos de la vía.

Sin embargo, las experiencias hechas han demostrado, que haciendo deslizar vagones de ejes rígidos y de ejes articulados que puedan colocarse constantemente normales á las curvas, no se encuentra más que 0k,500, poco más ó ménos, de diferencia en la resistencia ofrecida al movimiento, gracias, sin duda, á la conicidad de las llantas, y al juego de los coginetes y del ancho de la vía.

Pero, no es así como se ha de hacer la comparación; pues sabido es, que en las vías estrechas se emplea material móvil más reducido, con lo cual disminuye la separación de los ejes y el ángulo que las pestañas de las ruedas forma con el carril (fig. 2, lámina 1); ángulo que representa la magnitud del obstáculo que las ruedas encuentran á su libre rotación y que se puede calcular partiendo del principio del paralelismo de los ejes.

Supongamos para ello (fig. 3) que en una curva de centro O, de radio R y ancho a se mueve el vagón de ejes E y E'; separados de una distancia l; el ángulo que formará la rueda ar supuesto normal el eje E' se podrá considerar igual al $P\,c\,T$ formado por la perpendicular bajada al diámetro correspondiente al eje E desde el punto c prolongación del eje E' hasta encontrar el carril exterior y la tangente á dicho carril en este mismo punto.

Ahora bién, este ángulo es suplemento del $O\,c\,P$ y por lo mismo será, llamándole α, (fig. 3)

$$cos.\ \alpha = sen\,6 = \frac{l}{R + \frac{a}{2}}$$

Apliquemos esta fórmula á algunos casos para formar el siguiente cuadro:



RADIO	VIA ESTRECHA DE 1^m,00 sen θ					VIA DE 1^m,44 sen θ			VIA ESPAÑOLA DE 1^m,67 sen θ		
	Separación de eje á eje de los vagones					Separación entre los ejes de los vagones			Separación de eje á eje de los vagones		
	1^m,40	1^m,60	2^m,00	2^m,20	3^m,00	3^m,00	3^m,20	3^m,70	3^m,00	3^m'20	3^m,70
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	0'013930	0'015920	0'019900	0'021890	0'029850	0'029785	0'031761	0'036739	0'029751	0'031749	0'036693
200	0'006982	0'007980	0'009975	0'010973	0'014763	0'014946	0'015943	0'018437	0'014937	0'015933	0'018423
300	0'004658	0'005656	0'006655	0'007322	0'009983	0'009976	0'010641	0'012303	0'009972	0'010637	0'012299
400	0'003495	0'003995	0'004953	0'005493	0'007490	0'007486	0'007985	0'009233	0'007484	0'007958	0'009230
500	0'002797	0'003196	0'003996	0'004396	0'005994	0'005991	0'006390	0'007389	0'005989	0'006389	0'007587
600	0'002331	0'002664	0'003330	0'003664	0'004995	0'004994	0'005326	0'006159	0'004994	0'005325	0'006158
700	0'001998	0'002284	0'002855	0,003141	0'004282	0'004281	0'004566	0'005280	0'004281	0'004565	0'005278
800	0'001748	0'001998	0'002498	0'002748	0'003747	0'003746	0'003996	0'004620	0'003746	0'003995	0'004620
900	0'001748	0'001776	0'002221	0'002443	0'003331	0'003330	0'003552	0'004107	0'003330	0'003552	0'004107
1000	0'001399	0'001599	0'001990	0'002198	0'002998	0'002997	0'003197	0'003697	0'002997	0'003197	0'003697
1500	0'000933	0'001066	0'001332	0'001466	0'001999	0'001999	0'002132	0'002532	0'001999	0'003132	0'002532
2000	0'000699	0'000799	0'000999	0'001099	0'001499	0'001499	0'001599	0'001849	0'001499	0'001599	0'001849



De esta tabla se deduce claramente la influencia considerable de la separación de los ejes y la insignificancia de la debida al ancho de la vía por sí solo; pues, basta comparar las columnas 4, 5 y 9 de la magnitud del seno del ángulo de desviación de las ruedas, que consideramos, correspondientes á vagones cuyos ejes distan tres metros de uno á otro aplicados respectivamente á los tres anchos de vía 1^m, $1^m,44$ y $1^m,67$ y se verá cuán poco se separan llegándose á confundir los números de las dos últimas columnas á contar del radio 600 metros y las tres á contar del radio 1500, y eso, que dichos números están aproximados hasta las millonésimas. De la misma manera puede observarse como se confunden los números de las columnas 7 y 10 á partir del radio 900 metros y los de las 8 y 11 desde el radio 800 hácia arriba. En cambio véase cuánto se diferencian los de las 1, 2, 3 y 4 de las demás á causa de pertenecer las primeras á separaciones de ejes de $1^m,40$; $1^m,60$; $2^m,00$ y $2^m,20$; es decir, á separaciones mucho más pequeñas que las otras.

Esto mismo se manifiesta de una manera gráfica y clara por medio de la figura 4 (Lám. I) en la cual se representa por medio de curvas referidas á dos ejes coordenados rectangulares las distintas columnas de la tabla contando los radios sobre el eje de las x á la escala de 1 por 10.000 y las magnitudes de los senos sobre el eje de las y á la escala de 5 por 1. Las curvas 1, 2, 3 y 4 representan respectivamente las columnas 1, 2, 3 y 4; las columnas 6, 7 y 8 están representadas por las otras tres curvas que llevan dichos números, llevando tambien los 5, 9, 10 y 11 que representan al propio tiempo estas columnas ya que con las dimensiones del dibujo no ha sido posible trazar curvas especiales que las representaran, por confundirse con aquellas.

Por otra parte, téngase presente que debe existir cierta proporcionalidad entre el ancho de la vía y la separación de los ejes, tanto para utilizar las ventajas del empleo de material pequeño en las vías de poco ancho como para asegurar la estabilidad de los vehículos en todos los casos. Si la resistencia ofrecida por las curvas es directamente proporcional á la separación de los ejes claro está, que la tendencia de los constructores será disminuir dicha separación; pero tampoco conviene llevar muy allá esta disminución, pues la práctica demuestra que no puede separarse mucho de suponer la separación doble del ancho de la



vía. Así, la dimensión más común en la vía francesa de $1^m,44$ ($1^m,50$ de centro á centro de carril) es suponer una separación de ejes de 3 metros. Esta misma magnitud se ha adoptado como la usual en España favoreciendo un poco el paso por las curvas sin que pueda darse por perjudicada la estabilidad de los vehículos y la pequeña disminución de resistencia que así ofrecen al paso por las curvas en comparación de la vía de $1^m,44$ lo pone de manifiesto claramente la columna 9 comparada con la 6. Separaciones mayores de 3^m en la vía ordinaria se emplean muchas y en la tabla damos las más usuales á saber: $3^m,20$ y $3^m,70$, siendo de esta última dimensión los vagones de mercancías últimamente adquiridos por la Compañía de Tarragona á Barcelona y Francia, segun ya hemos dicho, pero la verdad es que es dimensión muy poco usada y que violenta mucho las curvas de poco radio especialmente las de 200 metros de radio de los desvíos de las estaciones llegándolas á abrir si no están muy bien clavadas.

Hasta ahora, no puede decirse cuál es límite inferior de la separación de los ejes con relación al ancho de la vía por más que universalmente se reconozca que no es procedente traspasar lo que hemos dicho. Empero, en el ferro-carril del mediodía de Francia se usan vagones para balasto que con ser de vía ordinaria tienen solo 2 metros de separación de ejes; esto es, una base de sustentación de 4 de largo por 3 de ancho. En los ferro-carriles de vía estrecha aún se lleva más allá, siendo frecuentes las separaciones de $1^m,40$ y $1^m,60$ en vías de metro y esta tolerancia es motivada en la menor velocidad que los trenes de estas vías llevan; por cuya razón las hemos incluitido en el cuadro que antecede.

Para comparar las ventajas de la vía estrecha, bajo el punto de vista que venimos considerando aún suponiendo la misma estabilidad á los vagones, calculemos cuáles son las separaciones de ejes que proporcionalmente se asemejan á las de la vía ordinaria; así, para la separación de 3^m en vía de $1^m,44$ se tendrá:

$$\frac{1'44}{3} = \frac{1}{x}; \quad x = \frac{3}{1'44} = 2^m,083$$

Podemos, pues, asemejar la columna n.º 3 que corresponde á 2^m de separación (ó sea sensiblemente $2^m,083$) á la columna 6 representadas respectivamente por las curvas n.º 3 y 5—6—9; y si



ahora, suponemos que se trata de una curva de 300 metros de radio, por ejemplo, y levantamos la ordenada correspondiente $p\ m$ y del punto m tiramos una paralela al eje de las x, encontrará ésta á la curva n.º 3 en el punto n que tiene por abcisa $O\ q$ correspondiente á un radio de 200 metros. De igual manera podemos ver en la figura que la misma resistencia ofrecerá una curva de 200 metros de vía ordinaria que una de 130 metros de vía estrecha, una curva de 500 metros de la primera que una de 330 de la segunda y en resúmen podemos formar por este medio, la tabla de parecidas equivalencias que ponemos á continuación y que fácilmente podrán completar nuestros lectores para el caso ó casos que les interesen.

Curvas equivalentes en resistencia para anchos de vía de 1^m, $1^m,44$ y $1^m,67$.

ANCHO DE VIA DE			ANCHO DE VIA DE		
$1^m,00$		$1^m,44$ ó $1^m,67$	$1^m,00$		$1^m,44$ ó $1^m,67$
Radio de 70 mts.	EQUIVALE Á	Radio de 100 mt.	Radio de 460 mts.	EQUIVALE Á	Radio de 700 mts.
» 130 »		» 200 »	» 530 »		» 800 »
» 200 »		» 300 »	» 600 »		» 900 »
» 260 »		» 400 »	» 660 »		» 1000 »
» 330 »		» 500 »	» 1000 »		» 1500 »
» 390 »		» 600 »	» 1500 »		» 2000 »

Si hacemos idénticas consideraciones para establecer la analogía entre las vías de $1^m,44$ y $1^m,67$ hallaremos que

$$\frac{1'44}{3} = \frac{1'67}{x}; \quad x = \frac{3 \times 1'67}{1'44} = 3^m,48$$

esto es, que una separación de ejes de 3^m en la vía ordinaria se asemeja á la separación de $3^m,48$ en la vía de $1^m,67$. Y como si quisiéramos igual coeficiente de estabilidad en ambas vías deberíamos comparar la resistencia correspondiente á las separaciones 3 y 3'48, en las mismas, resultando la de ésta mucho mayor



que la de aquella, porque la curva que representaría la última estaría comprendida entre las 10 y 11 de la figura y de la tabla, de aquí que á igual estabilidad, la vía española ofrece mayor resistencia al paso de los trenes que la vía francesa: otra de las desventajas de haber adoptado en España una vía distinta del resto de Europa.

Mucho queda aún que decir sobre este importante punto, por más que nos hayamos detenido más de lo que era menester dado el carácter general de este trabajo; pero lo hemos hecho de intento porque es una cuestión muy poco estudiada y desearíamos que personas más competentes la tratasen con más amplitud de lo que lo hemos podido hacer nosotros, que en resúmen venimos á parar á las conclusiones siguientes:

«1.ª La resistencia ofrecida por las curvas al paso de los tre- »nes es menor en las vías estrechas que en las anchas, supuestas »iguales las demás condiciones que puedan influir; si bién es »poca la diferencia de lo que este ancho influye;

»2.ª A igual estabilidad para los vehículos la vía estrecha »ofrece muchísima ménos resistencia que la ancha;

»3.ª Entre la vía de ancho de $1^m,44$ y la de $1^m,67$ no hay dife- »rencia sensible empleando vehículos que tengan igual separa- »ción entre los ejes; por consiguiente, todo lo que hemos dicho »sobre el paso de los trenes por las curvas y sobre el modo que »estas influyen en las rampas es igualmente aplicable á la vía »española sin diferencia notable; pero no lo es á la vía estrecha »donde no podemos admitir igual separación de ejes que en la »vía normal y para encontrar la influencia de ésta después de »calculada la de aquella nos valdremos de la tabla, considera- »ciones y curvas que dejamos explicadas.»

Emplazamiento de las estaciones.—Tanto para evitar el peligro y las dificultades que las maniobras con los trenes presentan en las vías inclinadas, como para que estos trenes no se vean imposibilitados de arrancar de la estación cuando el tiempo está húmedo y lleven mucha carga se huye siempre de hacer estaciones en rampas; habiendo Divisiones de ferro-carriles que las prohiben terminantemente. En Inglaterra mismo, donde tan poca intervención tiene el Gobierno con las compañías, no se permiten estaciones en pendientes de más de 1 en 260 ($0^m,00384$ por metro)



y si las condiciones del terreno las hacen indispensables, obligan á protejer la vía por medio de dos rampas una en cada extremo de agujas que impidan el fácil escape de trenes ó vehículos en ambos sentidos. Sin embargo, en ferro-carriles de poco coste ha de pasarse por este y otros inconvenientes en obsequio á la economía, recurriendo al establecimiento de simples apeaderos cuando la rampa ó pendiente sea verdaderamente importante. En muchos casos á lo sumo se podrán instalar en su lugar apartaderos que permitan el cruce de trenes, cuando la distancia entre dos estaciones sea demasiado larga á fin de disminuir las pérdidas de tiempo por los cruces y alcances de trenes.

Así, pongamos por caso, que la separación entre dos estaciones sea de 16 kilómetros y que el trayecto que hay entre ellas está en rampa y no permite una velocidad media mayor de 18 kilómetros por hora. Un tren salido de la estación más baja hacia la más alta empleará 53 minutos en el trayecto y como en rampas fuertes, es decir, que excedan de 1 por 100 no será prudente en una explotación de condiciones ordinarias, expedir trenes uno trás otro sin que el primero haya llegado á la estación inmediata, el intervalo entre dos trenes consecutivos no podrá ser menor de 53 minutos, lo cual limita mucho el número de trenes ascendentes y si á esto se agrega que los cruces con los descendentes no podrán efectuarse durante dicho tiempo, dicho se está que quedan muy limitados unos y otros. De aquí, pues, la necesidad de aumentar el número de estaciones ó apartaderos en las líneas de fuertes rampas con mayor motivo que en las de rampas suaves, aumento que por otra parte, está en armonía con la naturaleza de esta clase de caminos, en los cuales en beneficio de la explotación y para dar todas las facilidades posibles al público á fin de que el tráfico aumente, conviene sobre manera multiplicar las paradas.

La posición que una estación, apartadero ó apeadero ocupe en una línea de esta naturaleza debe tenerse en cuenta para la adopción de las rampas límites de velocidad, y para las vencibles por empuje y aún para las anteriores á éstas, puesto que la parada de los trenes obliga á una pérdida de fuerza viva, que en ciertos casos puede hacer falta.

En cuanto á la situación de las estaciones con relación á la traza horizontal del camino, nunca encareceremos bastante la



utilidad de que se acerquen á las poblaciones y aún entren dentro de ellas á costa de grandes sacrificios, tomando ejemplo de Inglaterra que pagando fabulosas indemnizaciones ha llevado los ferro-carriles al corazon mismo de Lóndres. A primera vista parece que no hay paridad entre los ferro-carriles de poco coste y estos ferro-carriles ingleses tan costosos y de tanto tráfico; sin embargo, tan útil es á unos como á otros el dar facilidades al tráfico, y si bién dicho tráfico en los primeros es insignificante en comparación de los segundos, también el coste de construcción, aunque relativamente á él puede ser grande, con relación al de los segundos es reducidísimo, porque se trata de localidades en las cuales, ni el terreno, ni los edificios, ni los perjuicios reales son tan importantes.

No deben escasearse el número de las estaciones, reducidas si se quiere á la mínima expresión; en todas las fábricas, en la mayor parte de los caseríos, en los cruces de caminos importantes, en los mismos bosques y viñedos donde pueda utilizarse un alto, hay que hacerlo sin que por esto deban mantenerse empleados permanentes en todas partes. Desgraciadamente este sistema no se sigue como fuera de desear, porque hay la preocupación ó el *prurito*, mejor diremos, de querer dar á los ferro-carriles de poco tráfico, aún en los de vía estrecha, el carácter de ferro-carriles formales, si se nos permite la frase, con sus estaciones, y empleados de éstas, sus taquillas, sus señales reglamentarias, etcétera, etc., en lugar de considerar que este medio de locomoción ha de ser un intermediario entre la antigua diligencia y el moderno ferro-carril, huyendo de los defectos de ambos sistemas y procurando establecer las ventajas de los mismos.

Tranvías.—Algunos ingenieros son partidarios de la instalación de los ferro-carriles en la vía pública constituyendo lo que se conoce con el nombre de *tranvías*. Palabra, que si bién para dar á conocer lo que representa sirve como otra cualquiera no tiene, etimológicamente hablando, gran valor. Y en efecto, se deriva de la palabra inglesa *tramway* que es sinónima de *tramroad*, ambas derivadas de las palabras *tram* que significa *platabanda* tira de madera, hierro, etc., y *way* ó *road* que significa camino.

Los *tramways* ó *tramroads* se usaban ya en la primera mitad del siglo XVII en los distritos mineros ingleses que embarcaban la



hulla en el Tyne, y se formaban con tiras ó carriles, llamémosles ya, de madera de 1m,50 á 1m,80 sobre las cuales rodaban los vagones desde las minas al embarcadero. Hasta 1767 no se sustituyeron las planchas de madera por planchas de fundición que á su vez fueron suplantadas por las de hierro laminado que sucesivamente fueron perfeccionándose dando lugar á una multitud de sistemas. Más tarde, viendo los inconvenientes que ofrecía el empleo de carriles en la vía pública se construyeron caminos dedicados exclusivamente á recibir estos carriles dando orígen á los *railways* que llamaron los ingleses, sus inventores; es decir, á los ferro-carriles propiamente dichos.

Hoy día, se conservan todavía estas interpretaciones, pudiéndose extender la denominación de tranvías, tanto á los caminos carreteros como á las calles mismas de las poblaciones que tengan carriles.

Si no es para el servicio solo de viajeros nunca, puede decirse, se emplea la fuerza animal excepción hecha de las vías establecidas en el interior de las minas, de las fábricas y de otros establecimientos y en los trabajos de escavación y transporte de tierras; viéndose hoy día emplear las locomotoras dentro mismo de las poblaciones. En Italia, donde los tranvías, de 1m,50 tirados por caballerías han adquirido un desarrollo inmenso, hánse convertido en tranvías de vapor de dicho ancho, con solo la sustitución de las caballerías por locomotoras y nosotros creemos que muchas comarcas sobradamente pobres no tienen otro porvenir que el de las tranvías de vapor si quieren tener algo parecido á ferro-carriles.

La cuestión se reduce á saber apreciar cuándo debe hacerse así y qué condiciones deberán reunir estas tranvías. El cálculo de los productos probables es el que ha de decir, hasta dónde puede llegar el capital empleado; pero debe tenerse presente que á veces puede ser más cara la utilización de un camino carretero que la construcción de un camino especial para el ferro-carril ya sea á causa de las rampas fuertes ó de estar mal establecidas; esto es, que no respondan á los sanos principios que llevamos expuestos, ya por ser sus curvas de radios excesivamente pequeños, ya porque la anchura del camino es insuficiente y su ensanche ha de ser demasiado costoso para no ser preferible hacer un camino propio que permita huir de los obstáculos y peligros que la circulación pública puede ofrecer, etc., etc. Todas estas circunstancias



que variarán en cada caso particular deben apreciarse con sumo cuidado y discreción á fin de acertar en la resolución adoptada.

España, que carece de caminos carreteros en muchas comarcas, debería construir estos caminos de manera que tuvieran el ancho y el perfil longitudinal á propósito para ser utilizados por los tranvías en aquellos parajes, que no puedan tener ferro-carriles económicamente hablando, á lo ménos por ahora. Esto, vendría á ser una ventaja inmensa para la compañía explotadora, si se autorizase á ésta la ocupación de la parte de explanación que le estuviese reservada, sin trabas ni onerosos cánones, pues, vendría á constituir uno de los poderosos medios de subvención, indispensable que para estos casos preconizamos, como veremos en la tercera parte de este humilde trabajo.

En todos estos caminos debería emplearse vía estrecha, la de un metro; porque es evidente que el recurrir á este medio supone, que se trata de un país pobre que no ha de poder construir una vía ancha; por consiguiente, el tráfico que podrá proporcionar será sobradamente servido por un ferro-carril de poco calibre, además, de que su mayor ancho supondría mayor gasto, si la carretera por este motivo debía ensancharse, ó una ocupación de dicho camino demasiado considerable.

Otro motivo hay, todavía, en favor de la vía estrecha en estos casos y es la mayor facilidad que ésta tendrá de poder seguir todas las inflexiones de las carreteras ya que estas muchas veces están trazadas con radios muy pequeños, y aún así será preciso, muchas veces, pasar de un lado de la carretera, á otro para poder admitir los radios mínimos propuestos en el trazado. Estos casos se han de reducir todo lo posible, porque no se puede en la generalidad de ellos hacer bién este cruce en razón del desnivel de la vía en las curvas y del embalsamiento de aguas á que esto dá lugar. También permite más fácilmente esta vía, circular por el interior de las poblaciones aún en calles de ancho muy limitado.

En algunos casos se hace el trazado de manera que solo se aprovecha alguna carretera en parte del trayecto total construyendo el resto con explanación propia. Así se ha hecho en el ferro-carril de Manresa á Berga, en el de Zaragoza á Cariñena y en otros, lo cual puede disminuir notablemente el coste total de la obra sin resultar perjuicio para la explotación, ni para las



condiciones técnicas del trazado, si se aprovecha únicamente aquella parte de camino verdaderamente aprovechable.

Recursos extremos y trazados notables.—En ciertos ferro-carriles, situados en terrenos muy montañosos, ha sido preciso recurrir á medios tan engorrosos para el tráfico ó tan caros para hacer posible un trazado que bién podríamos llamarlos medios ó recursos *supremos*. Nos referimos principalmente á los retrocesos y á los túneles en hélice.

Los retrocesos consisten, como su nombre lo indica, en colocar unas agujas que permitan retroceder á los trenes en llegando á cierto punto de una ladera, en el cual no sea posible continuar la marcha del tren en su primitivo sentido por haber escarpes inmensos que no dejen desarrollar las curvas que para ello serian menester. En Europa hay muy pocos ejemplos de retrocesos empleados; sólo se pueden citar el del camino de Chaux de Fond á Neufchâtel y dos proyectados uno en el primer estúdio de travesía del Simplón y el del proyecto último de modificación de la bajada del puerto de Pajares (Asturias), que no llegaron á realizarse. En América, que es donde se ideó este recurso han sido más empleados habiendo ocho en el ferro-carril de Baltimore á Ohio y dos en el Great-Peninsulare Indien al atravesar los Alleghanys el uno y en la travesía del Thül-Ghant el otro.

Este sistema, para líneas de poco coste en países muy montañosos parece ser indicado, porque facilitan mucho las travesías de las grandes cordilleras los caminos en zig-zag que con ellos se pueden construir; sin embargo se ha de ser muy prudente en adoptarlos haciéndolo sólo en casos supremos para no introducir dificultades en el futuro tráfico de la línea.

El recurso de los túneles en hélice fué ideado por Hr. Helwag en el ferro-carril del San Gotardo. Este ingeniero se encargó de la construcción de aquella línea en sustitución de Herr Gerwig quién para remontar el *thalweg* del Reuss cuyo lecho tiene una pendiente de 0,^{m} 0775 por metro establecia grandes muros y viaductos que permitieran pasar muy alta la vía hacia la parte inferior del *thalweg* á fin de encontrarse muy arriba del mismo con el nivel de las máximas avenidas.

Herr Helwag, por el contrario, rebajó la rasante en la parte inferior del rio y suprimió los muros y viaductos ó los redujo



á dimensiones relativamente insignificantes, pero en cambio, como se encontró pronto con el nivel de las crecidas máximas; antes de llegar á él principió la perforación de túneles en rampas máxima de 26 milímetros por metro y en curvas de 400 metros de radio constituyendo el conjunto de cada uno de ellos una espira de hélice más ó ménos completa que le permitia elevarse en las montañas á cuyo alrededor ó por cuyo interior trepaba. No hay duda, que el sistema es sumamente ingenioso y puede dar lugar á una solución aceptable en muchos casos, pero es de difícil y cara ejecución.

Otro recurso supremo que en determinados casos puede ser de utilidad, es la combinación de una vía de adherencia natural con una pequeña sección de la misma con adherencia artificial ó con cables. En este caso debe tenerse presente que el tráfico de que será suceptible esta sección comparado con el de adherencia natural será muy limitado y deberá calcularse si el número de trenes que diariamente permitirá una sola vía exigirá que se establezcan dos ó más para equilibrarse con el de la primera. No obstante, no se olvide que sólo en ferro-carriles cuyo coste debe ser muy reducido por el tráfico que se podrá esperar convendrá emplear recurso tan poco espeditivo por las enormes pérdidas de tiempo que implicará y por los trasbordos; casi sólo se deberá acudir á él en extremos de línea, pues que en puntos intermedios casi siempre se encontrará solución preferible en prolongar el trazado, ascendiendo poco á poco en las vertientes de la divisoria que se trate de ganar, en la perforación de túneles largos y aún en la adopción de retrocesos que aúnque engorrosos no lo son no tanto como los cables, las cremalleras, etc., en una palabra las grandes rampas, cuya ascensión requiere adherencia artificial.

Para terminar este capítulo referente al trazado de una vía de poco coste, y entiéndese que siempre referimos éste al que debería tener una línea de rampas suaves por cuya razón no es extraño que hablemos en él de líneas que han exigido obras de grandísima importancia, vamos á consignar agrupadas en forma de cuadro algunas de las principales condiciones que caracterizan á ciertas líneas de la mayor parte de las cuales nos ocupamos más ó ménos detalladamente en este humilde trabajo, ya por ser modelos de vía estrecha, ya por tener pendientes considerables ó curvas de rádios muy reducidos, ya, en fin, por las obras colosales que contienen.



Resúmen de las condiciones especiales

NOMBRE de la línea	NACION A que pertenece	VELOCIDAD de sus trenes	LONGITUD de la línea	ANCHO de la vía	RADIO mínimo de las curvas	PENDIENTE máxima
Ballimena á Larne.	Inglaterra.	35 Kms.	112 Ks.	1m,07	140 m.	0m,024
Festinioge.	Id.	20 Kms, en las curvas. 43 » en recta.	23 »	0m,615	35 »	0·0125
Australia.	Colonias inglesas de Australia.		1292 »	1m,06	100 »	0'020
Uetliberg á Zurich.	Suiza.	20 Kms.	9 »	1m,50	137 »	0'070
San Gotardo.	Id.		206 »		280 »	0'026
Monte Cenis.	Francia é Italia.	De 15 a 20 Kms. De 15 a 30 Kms.	1'500 »	1m,50	39 »	0·083
Id.	Id.			1m,50	345 »	0'030
Riggi.	Suiza.	5 Kms.	5'141 »	1m,50	180 »	0'210
Kähnelberg	Austria.	2 »	0'760 »	1m,878	Recta.	0'340
Buda.	Hungría.	2 »	0'090 »	1m,878	Recta.	0'570
Canta Gallo.	Brasil.		32 »	1m,50	100 »	0'080
Calais á Anoires.	Francia.	20 »		1m,06		0'018
Hermes á Beaumont.	Id.	20 »	31 »	1m,06	100 »	
Semring.	Austria.	De 15 a 30 Kms.		1m,50	190 »	0'025
Brenner.	Id.	De 15 a 30 »		1m,50	285 »	0'025
Oravieza á Steierdorf.	Italia.	20 Kms.		1m,50	115 »	0'020
Don Pedro. (línea provisional)	Brasil.				76 »	0'053
Baltimore á Ohío. (provisional).	Estados-Unidos.			1m,50		0'100

de algunas líneas notables

PESO DE las locomotoras	SISTEMA de las locomotoras	CLASE de carruajes	PESO de los carriles por metro	COSTE por kilómetro	PRODUCTO bruto Kilométrico	COSTE DE la explotación
18T vacías 24T cargadas	Con bogie.	De 9m × 1m,90 con bogie.	20 Klgs.		7300 Ps.	58 p %
8T	Máquinas tenders de 4 ruedas acopladas.					
10T	y Fairlie.	4 ruedas distancia de ejes 1m,89	23 »	93750 Pts.	28000 »	55 »
15T vacíos 20T cargados	6 ruedas acopladas.	Id.	16 »	162000 »		
16T	6 id. id.	Id. 4 ruedas.	22'50»	172455 »		
18 ½T vacíos 22T cargados	Fell con 2 cilindros.	Fell.	33 »	165000 »		
45T sin tender	8 ruedas acopladas.	Ordinarios				
	Riggenbach (cremallera).	Riggenbach	Rail 16'66 Cremallera 68K			
	Cable.	Bastidor inclinado				
	Cable.	Bastidor inclinado				
30T	Fell con 4 cilindros.	Fell	26 »	42500 »		
» 24T	»	»	20 »			
50T sin tender	»	»				
41T vacías 47T cargadas	8 ruedas acopladas. á 3m,45 de distancia.					
28 ½T	Baldwin 8 ruedas acopladas.					
25T	8 ruedas acopladas.	1 vagon de 20T				

CAPÍTULO II.

CONSTRUCCIÓN.

I. Terrenos.

Después de acordado el trazado con todas las modificaciones que exijan las circunstancias de la localidad y el deseo de los municipios cuyos terrenos se atraviesen compatibles con los intereses del ferro-carril, y hasta después de aprobado el proyecto por las Córtes á fin de tener derecho á la expropiación forzosa, no debe principiarse la construcción, si no se quiere suceda lo que á algunas compañías que por esta causa han perdido mucho dinero, pagando caros los terrenos y ejecutando obras que luégo no han podido utilizarse por no avenirse con la traza definitiva del camino.

Se procederá primero al replanteo definitivo, señalando los terrenos que deban expropiarse y se formarán sin pérdida de tiempo los expedientes de expropiación forzosa en armonía á lo prevenido por la ley de 10 de Enero de 1879, y Reglamento de 13 de Junio de 1881, formando una relación de propietarios y parceros y un plano á la escala de 1 por 400 de las parcelas á expropiar, por cada término municipal.

La tramitación de estos expedientes es de sí larga y enojosa; pero con el sistema seguido por los centros oficiales españoles de no moverse si no es á repetidos impulsos de los interesados, se hace interminable, por lo que es preciso haya un agente de la Compañía que contínuamente vaya á las dependencias donde pueda experimentar retraso dicha tramitación á fin de allanar dificultades y activarla.

Uno de los períodos de la tramitación es el *justiprecio,* que tal como la ley dispone, puede hacerse sin tener que pasar por las exigencias que generalmente tienen los propietarios, gracias á las hojas de *datos* que se deben formar préviamente y en las que se hace constar la contribución que cada finca paga, su riqueza imponible según conste en los amillaramientos, la contribución que le haya sido designada en los últimos repartos y el producto



en renta que dé cada finca según las contratas existentes; además, de la calidad de la finca, su cabida, clase de plantío que contiene, extensión, linderos, etc. Como nadie declara su finca por mayor valor del que tenga á fin de disminuir su contribución, las compañías expropiadoras quedan por ello favorecidas y esto permite, por lo tanto, á los peritos hacer prevalecer las valoraciones justas.

Al formar los planos de expropiación se cuidará de que el terreno sea suficiente para que las cunetas superiores de los desmontes no queden al borde mismo de éstos, sino á dos metros ó á metro y medio, por lo ménos, sin lo cual dichas cunetas son más perjudiciales que ventajosas al cabo de poco tiempo, por los boquetes que abren al talud dejando caer el agua en la vía y favoreciendo los desprendimientos.

En las estaciones, donde, por su proximidad á la población, los terrenos pueden aumentar de precio al cabo de poco tiempo de hecho el ferro-carril, se adquirirá con la holgura que aconseja una abundante explotación; pues, aúnque se trate de un ferro-carril económico ha de tenerse presente que la economía consiste, muchas veces, en saber gastar con oportunidad.

II. Pequeñas obras de fábrica.

Lámina II.

Caños y tageas.—Adquirido ya el terreno necesario, se replantearán y ejecutarán enseguida las obras de fábrica dando la preferencia á las correspondientes á los terraplenes que deban hacerse con las tierras de los desmontes inmediatos.

Los caños, en lo posible, se harán tubulares cuando deban ser cubiertos, pudiéndose emplear tubos de barro cocido ó de grés formados con piezas de 40 á 50 centímetros de longitud, unidas por medio de mortero común ó puzolana, pero nunca con cemento, porque al fraguar éste los rompe todos. Las piezas de barro tendrán de 2 á 3 centímetros de espesor, estarán barnizadas por la parte interior y á fin de dar más cohesión y estabilidad al conjunto se rodeará todo el tubo de una capa de 15 centímetros de hormigón hidráulico. En terraplenes de 1^{m},50 á 4 metros de altura esta clase de caños dan excelentes resultados; pero en midiendo más de 4 metros son ya demasiado débiles para resistir el peso de las tierras, además de la presión de los trenes. Con

5

poco espesor de tierra encima, tampoco son convenientes, porque la trepidación de los convoyes los rompe é inutiliza pronto; así es, que su empleo tiene límites bastante reducidos, si se quiere, aúnque afortunadamente son estos los más comunes en ferrocarriles económicos.

Si se hacen de ladrillo bastará, miéntras no excedan de 40 centímetros de ancho, dar á la bóveda 15 centímetros de espesor, y si son tubulares y del citado material podrá darse igual espesor á las paredes y solera; pero en este último caso, no obstante, convendrá dar forma plana al asiento de la obra como representa la figura 1 de la lámina II, empleando hormigón para ello ó mampostería de piedra de pequeño tamaño. En todos los casos será muy conveniente recubrir la parte superior del extradós de la bóveda por medio de una chapa de cemento mezclado con gravilla en partes iguales.

Nos ha dado también, muy buenos resultados, y sale muy económico hacer estas pequeñas obras cubiertas con bóveda de hormigón, si su luz no pasa de 50 centímetros. En este caso pueden emplearse bóvedas de arco rebajado correspondientes á ángulos centrales de 60 grados y un espesor de 20 centímetros es suficiente para los tramos del tamaño indicado. Hemos empleado para estas bóvedas, cimbras de 1^m,50 del ongitud formados de listones de 4 centímetros ancho por 2 de espesor, sostenidos por segmentos de madera del perfil del arco y colocados encima de estos sin clavar. Mezclando un poco de cemento (aúnque no sea más que un 10 por 100) en el mortero, al cabo de 3 horas y ménos de haber extendido el hormigón, que se procurá apisonar, puede quitarse la cimbra; de manera que si se principia por el centro de la obra teniendo dos cimbras disponibles se puede ir alternativamente hácia cada uno de los extremos, construyendo bóveda sin interrupción.

Un caño ó tagea de 0^m,40 de ancho por igual altura hasta el arranque de la bóveda y con muros de 40 centímetros de espesor construido como dejamos dicho viene á costar por término medio á razón de 8 pesetas el metro lineal.

Siempre que la altura de la vía sobre el terreno natural lo permita, se construirán cubiertas las obras de fábrica á fin de hacerlas más durables; pues, las abiertas, mayormente si no se construyen empleando en ellos sillares de gran dimensión, por



la acción destructora de la trepidación de los trenes se descomponen muy rápidamente, saliendo sumamente cara la conservación de las mismas; cuando las cubiertas, sobre todo si no les faltan tierras encima de la bóveda que formen mullido para amortiguar la acción de los trenes, no exijen nunca ninguna reparación, como no sea algún rejuntado de los ladrillos de diez en diez años. Ahora, cuando entre el extradós de la bóveda y la parte inferior del balasto no puede haber de 20 á 25 centímetros de tierra mejor será dejarlas descubiertas, porque las trepidaciones destruirían rápidamente la bóveda. Si deben estar situadas en una carretera ó en una estación donde pueden ser un peligro para las personas que frecuenten la localidad y no es posible poner bóveda por falta de altura se podrán cubrir con losas de piedra si no tienen más de 70 centímetros de luz á condición, empero, de que debajo de la grava quedan todavía 10 centímetros de tierra por lo ménos.

Las alcantarillas y tageas cubiertas, sobre las descubiertas, no solo tienen la ventaja de ser más económicas de conservar sino hasta de construir, por regla general. Para convencerse basta comparar el coste por metro líneal de las de los tipos figuras 2 y 3 de la citada lámina en los cuales suponemos, por ejemplo, que la altura desde el cauce á la parte superior del carril es de $1^{m}30$, y en dicho valor no incluimos el de los cimientos que depende de la naturaleza del terreno, ni el de las aletas que depende de su forma.

Tagea del tipo figs. 2, 4, 5 y 7 (lado izquierdo de esta última) de 0^{m},50 luz.

	Mets. cúbs.		Pesetas.	Pesetas.
Muros de mampostería.	0'680	á	12'50.	8'50
Coronación de ladrillo repartido por metro lineal.	0'036	á	35'00.	1'26
Coronación de piedra y sillares de cemento repartido por metro lineal de tagea.	0'1445	á	120'00. . . .	17'34
	Total.			27'10



Tagea del tipo fig. 3, de 0^m,50 luz.

Muros de mampostería.	0'680	á	12'50	8'50
Bóveda de ladrillo.	0'105	á	35'00	3'41
Chapa de 3 centímetros de espesor, encima de la bóveda. Mtrs. cuad.	0'68	á	1'50	1'02
		TOTAL.		12'93

La diferencia se ve pues, que es notablemente á favor de las obras cubiertas, en cuanto á los gastos de establecimiento, y la ventaja es mayor todavía por lo que llevamos dicho y sobre todo por la economía en la conservación de la obra, que repetimos es importante, porque no sucede como en las descubiertas que ya por la acción de las heladas, ó ya principalmente por la trepidación de los trenes al cabo de muy poco tiempo se mueven las coronaciones, los sillares de asiento y la misma mampostería siendo la vida de la obra relativamente corta, según hemos tenido ocasión de ver muchísimas veces, sobre todo si la capa de tierra que hay encima de la bóveda llega á más de medio metro de espesor, y cuenta que el tipo de tagea descubierta que hemos comparado es el más económico de los representados en el dibujo y los sillares de asiento supuestos, son de dimensiones reducidísimas.

La luz de las tageas puede ser desde 30 centímetros en adelante hasta alcanzar la separación ordinaria de las traviesas de la vía ó diez centímetros ménos para las descubiertas; separación, que como diremos más tarde, depende de la clase de carriles empleados y de la carga por eje admitida. Miéntras no se pase de esta separación puede dejarse el carril al aire sin apoyo alguno en el hueco de la obra; aúnque, á la verdad cuando el carril no sea sobradamente sólido será una buena medida de prudencia colocar en todos casos una traviesa por debajo de cada carril y longitudinalmente á la manera de larguero como representa la figura 6 y la parte izquierda de la 5. Con esta disposición se podrá llegar impunemente á construir tageas de 1^m de luz sin ningún otro apoyo, más que dichos largueritos.

En traspasando estos tramos límites, se podrán hacer de varios tramos análogos á los descritos aquellas obras que exijan mucho desagüe y permitan tan poca elevación que no puedan construirse con bóvedas ni vigas de mucha altura.



Cuando la pendiente del cauce imprima al agua una velocidad de $0^m,15$ por segundo, si la obra está sentada en arcilla de regular dureza, deberán construirse cadenas transversales de piedra ó ladrillo ligeramente cóncavas para que el agua se reuna hácia el eje de la obra, y no desagregue la solera y socave los cimientos. Si la velocidad puede alcanzar 0'20 deberá empedrarse en toda su longitud; pero si el terreno natural es grava se podrá tolerar una velocidad de 0'60 sin precaución alguna.

Los cimientos se construirán haciéndoles más anchos que los estribos ó pilas de la obra á cuyo fin se dejará un retallo de 10 centímetros á cada lado de estos apoyos y su profundidad dependerá, naturalmente, de la clase de terreno que se encuentre, siendo suficientes 60 centímetros en la generalidad de los casos en que se presente arcilla compacta ó grava. No pueden darse reglas fijas sin extenderse en largas consideraciones, en razón de las muchas causas que pueden modificarlas. No se perderá de vista, empero, la influencia que la existencia del agua puede tener reblandeciendo el terreno, prefiriendo más bién aumentar el coste de la obra para conseguir seguridad en los cimientos, que exponerse á que se pierda por la demasiada compresibilidad del terreno; pues, sabida es la grande influencia que tiene en la duración de las obras la invariabilidad de los cimientos, mayormente de las abovedadas y lo caro que cuesta la reparación de las de ferro-carril cuando ha de efectuarse sin interrumpir la circulación de los trenes. Hemos visto un túnel y dos pontones que se hundian por reblandecimiento del suelo, siendo así, que al construirse parecia se sentaban los cimientos en terreno sólido, que la existencia del agua fué reblandeciendo paulatinamente; luégo, si no se tiene una seguridad completa de la insolubilidad, digámoslo así, del terreno cuando el agua existe, deberá desviarse ésta de los cimientos. Las margas, exquistos flojos y arcillas flojas, son las tierras que más frecuentemente presentan estos defectos y son por lo mismo las que más atentamente se han de examinar y sanear.

En los cimientos, se deberá emplear cal algo hidráulica si se tiene á mano y será indispensable que lo sea, ya por su naturaleza, ya mezclándole un poco cemento, en todas las partes de la obra donde haya humedad.

Nunca se emplearán revoques en las obras de fábrica, porque,



á causa del hielo y de la trepidación de los trenes se destruyen muy pronto; ni se admitirán encintados en la mampostería por las mismas razones; únicamente para su mejor aspecto se podrán hacer rayas refundidas marcando las juntas de los mampuestos que se dejarán á cara vista al igual que la fábrica de ladrillo procurando que las aristas más enteras de estas sean las visibles y las juntas además de procurar sean todas sensiblemente iguales, de 5 milímetros de ancho sean refundidas de esta misma magnitud. Los ladrillos se emplearán siempre gruesos, de los conocidos con el nombre de *tochus* en este país, y que tienen de 55 á 65 milímetros de espesor, siendo el ancho y la longitud la usual de $0^m,14$ y $0^m,28$.

Las coronaciones, si se trata de obras descubiertas, es conveniente construirlas con piedras de sillería de grandes dimensiones caso de encontrarla barata en la localidad y cuando no se consiga esta ventaja y se admiten de menor tamaño en razón de la economía se podrá adoptar uno de los tres tipos que ponen de manifiesto las figuras 5, 6 y 7, siendo el de la mitad del lado izquierdo de esta última el más económico de todos. La supresión completa de la sillería no es posible sin hacer una obra muy fácilmente disgregable, porque el asiento de los carriles ó traviesas directamente encima de la obra de ladrillo la descompone rápidamente, además de que los ángulos de la coronación no pueden hacerse bién con ladrillos. En las vías estrechas puede llevarse más léjos esta tolerancia que en las anchas puesto que están destinadas á soportar menores cargas.

A los sillares de asiento de los larguerítos ó de las traviesas de las tageas, que corresponden á dos por cada vía en cada estribo, no se les dará menos de $0^m,40$ en las tres dimensiones y se harán mayores siempre que la sillería no salga muy cara en la localidad. De sus seis caras se labrará á fino forzosamente la superior; la que ha de servir de paramento podrá dejarse á punta de *escoda*, *bujardada* ó más fina según el lujo de la obra y las demás punta de pico, labrando sin embargo, finas, con corta frios unas fajitas de dos á tres centímetros contiguas á las aristas, para hacer bién las juntas.

En resúmen: se procurará que las piedras que constituyen las obras de fábrica y sobre todo las descubiertas sean de grandes dimensiones para que la conservación sea barata. Hemos visto



alcantarillas construidas con sillarejos de 0'60 á 1^{m},00 de soga en hiladas horizontales de 0^{m},40 á 0^{m},50 de espesor, que con ser de una piedra arenisca floja han resistido unos 20 años sin necesitar la menor reparación miéntras que otras cercanas á las primeras hechas con mampostería ordinaria, han tenido que rehacerse dos veces por completo, además de otras pequeñas recorridas de juntas. Esto basta para que el ingeniero vea los principios que han de presidir en esta clase de construcciones tan mal tratadas por los elementos y por la destructora trepidación de los trenes.

Bocas de las obras de fábrica.—Para las extremidades ó bocas de entrada y salida de las obras de fábrica se han propuesto muchos tipos que se reducen á dos, á saber:

1.° Un muro de frente paralelo á la vía de la longitud necesaria para que las tierras del terraplen no alcancen el interior de la luz de la obra, como manifestamos en las figuras 8 y 9, y convenientemente terminado por una coronación de ladrillo colocada entre sillares ó sillarejos situados, uno en cada extremo ó ángulo. Esta solución es la más usada en obras de poca altura y por consiguiente en las descubiertas.

2.° Sin embargo, cuando la cantidad de agua que ha de pasar por la obra es algo importante ó su velocidad hace temer el arrastre de las tierras que forman el talud antes citado, se construyen aletas que pueden tener una de las formas señaladas en las figuras 10 y 11. Unas de estas aletas son divergentes para recojer las aguas dentro del límite de la luz de la obra cuando el cauce es mayor que ella; la otra mitad de las figuras representa la disposición de las aletas cuando son paralelas al eje.

Estas son también las disposiciones que se emplean para las otras que tengan mucho peso de tierra porque dichas aletas siruer al propio tiempo como contrafuertes de los muros de frente.

Cuando haya temor de que el agua pueda llevar impetuosidad torrencial á la vez que encuentre facilidad para extenderse por lo llano que es el terreno y pueda coger las aletas por detrás para derribarlas, se podrá construir al pié de las mismas un tambor de altura poco mayor que la de las máximas avenidas, como indican las figuras 12 y 13.

Por sistema, no puede darse preferencia á ninguna de todas estas disposiciones, pues cada una tiene sus particulares aplica-



ciones por las razones mencionadas y el coste, que deberá tenerse muy en cuenta, no será á veces bastante motivo para dar la preferencia á las más económicas, pues antes que á la economía debe atenderse á la solidez de la vía.

Siempre que se trate de obras cuyos muros tengan más de dos metros de altura se construirán con paramentos inclinados y podrá darse á sus taludes inclinaciones de 2 $1/2$ á 5 centímetros por metro de altura, para los estribos, y 5 centímetros en el primer caso y 10 centímetros en el segundo para las aletas, que son los taludes más comunmente usados.

La coronación de estas aletas se hará con una albardilla de ladrillo ó sillería de 18 centímetros de espesor según lo que cueste uno y otra y pueda gastarse, y en la parte inferior se construirá un pilar de sillería ó de ladrillo también, ó si se prefiere se colocará simplemente un sillar que haciendo las veces de tal y llevando la inclinación del tizón de dicha albardilla retenga á éste para que no resbale.

Alcantarillas y pontones.—Todas las observaciones que hemos hecho referentes á los caños y tageas son igualmente aplicables á las demás obras de fábrica, como las que constituyen el encabezamiento de este párrafo. Siempre que el excesivo coste no sea obstáculo serán preferibles las alcantarillas ó pontones cubiertos á los descubiertos y de aquellos se preferirán los de bóveda á los de tramos de madera ó de hierro siempre que la altura de la obra lo permita. Las bóvedas deberán estar protegidas por una capa de tierra y se procurará sean de medio punto ó de arco en asa de cesta: las de un solo arco de círculo escarzano no son recomendables.

La forma general de las bocas, aletas y demás partes de los pontones ó alcantarillas cubiertas es la misma que la de las tageas pero no sucede así con las descubiertas en razón de los largueros ó formillas que constituyen el tramo y que obligan á construir un escalón al nivel de la parte inferior de éstas como se manifiesta en las figuras 13, 14 y 15 (lámina II.) El ancho de este descanso en el sentido del eje de la vía, ha de ser unos diez centímetros mayor que la longitud de apoyo de las formillas para que éstas no opriman la mampostería y la descompongan. Con este mismo fin se tomarán las precauciones necesarias para que



el tramo no se corra y haga más tarde lo que con la precaución anterior se ha tratado de evitar; así por ejemplo: se podrá sujetar una de sus extremidades á los sillares de asiento por medio de cuatro *esparragos* de 20 á 30 milímetros de diámetro, por cada formilla, siempre que la obra esté próxima á una pendiente que haga predominar la velocidad de los trenes en un determinado sentido y el extremo á que se colocarán será el de la parte de donde se halle la pendiente. Cuando el tramo es de madera esta precaución es poco necesaria porque es difícil el resbalamiento de este material colocado encima de piedra mientras que los de hierro como hay que colocarlos sobre planchas de resbalamiento hechas del mismo metal ó de fundición, pueden correrse fácilmente.

Las planchas de resbalamiento tienen dos objetos: el que indica su nombre; esto es, facilitar el movimiento del tramo debido á las variaciones de longitud por causa de los cambios de temperatura y además repartir la carga que soporta la extremidad de la viga en una superficie suficiente para que las piedras de asiento no sufran deterioro por exceso de carga. En tramos que no excedan de 4 metros siempre podrán emplearse para estos propósitos planchas de hierro laminado, pues aúnque se trate de ferro-carriles que tengan locomotoras con cargas de 12 toneladas por eje resistirá bién sin deformarse una plancha de 12 á 15 milímetros de espesor y de 35 á 40 centímetros de ancho, aún tratándose de vigas cuyas cabezas no tengan más de 20 á 25 centímetros; pues, en el supuesto de que las vigas descansen sólo en una longitud de 40 centímetros tendrán una superficie de apoyo de 800 centímetros cuadrados que ejercerán en la piedra una presión de sólo 12 kilógramos por centímetro cuadrado. En tramos mayores y ferro-carriles de trenes pesados como el ejemplo propuesto, ya deberán emplearse planchas de rozamiento de fundición cuya forma tienda, segun queda manifestado á aumentar la base de sustentación.

Los tramos de madera salen baratos de construcción pero sólo duran unos cinco años, suponiendo que son de pino resinoso, de modo que se han de renovar muy á menudo, al revés de los de hierro que teniendo cuidado de cambiar los roblones flojos y la pintura tan sólo hay que relevar los largueros ó traviesas de madera en las cuales el carril está clavado pues las vigas duran, puede decirse, indefinidamente, resultando así más económicos,



y sobre todo tienen la ventaja, jamás bastante ponderada, de no ofrecer el peligro á la circulación de los trenes que una prematura putrefacción de una viga puede ocasionar si no se observa á tiempo ó si se quema por causa del fuego caido de las locomotoras, como sucede algunas veces.

La interposición de largueros de madera ó traviesas entre las vigas de hierro y los carriles es indispensable para disminuir la dureza de la vía y facilitar la sujeción de los últimos. Háse sucitado varias veces la cuestión de si es preferible el empleo de los primeros ó el de las segundas, bajo los puntos de vista económico y práctico. El coste de un larguero de madera para una alcantarilla de 4 metros luz de ferro-carril ordinario y cuyas dimensiones serán 5 metros de largo, 0^{m} 26 ó poco más de ancho y $0^{m}15$ de espesor en el centro, será de unas 40 pesetas labrado y colocado; de modo que el tramo costará en este caso por dicho concepto 80 pesetas; miéntras que colocando traviesas de roble espaciadas de 60 centímetros de centro á centro y valoradas á 6'50 pts. una cajeadas y colocadas entrarán 9 y costarán 58'50 pesetas. Saldrá por tanto más barato el uso de las traviesas, aún teniendo en cuenta que sujetándolas á las formas con un tornillo en cada extremo y los largueros con tornillos espaciados de un metro, máxime si se observa que la duración natural de las traviesas será mayor que el de los largueros que se pudren ántes y se hienden por la línea de los tirafondos ó escarpias de sujeción de los carriles. En cambio, será más fácil que se quemen que los largueros, destruyéndose ántes por esta razón y siendo un peligro para la vía y también tendrán la desventaja de dejar sin apoyo la parte de los carriles comprendida entre una y otra traviesa. Para impedir que puedan quemarse las traviesas se tapan por un entablonado, por lo ménos en el interior de la vía, que es donde más peligro corre, cubriéndolo luégo con balasto con lo cual además se tiene la ventaja de poder cruzar el tramo sin peligro alguno para los guardas y otros agentes que se ven obligados á recorrer la vía.

Para un ferro-carril económico, el empleo de las traviesas en estas condiciones será, sin duda, la mayor disposición.

El coste de un tramo metálico y de una bóveda de ladrillo, para el ancho de 4 metros será próximamente el mismo y quizás algo mayor teniendo en cuenta el mayor espesor que requerirán



los estribos, pero la conservación, si la obra está bién hecha, será más barata para una alcantarilla abovedada; por cuya razón, deberá preferirse el empleo de bóvedas si la altura de la rasante lo permite, mayormente si la localidad puede proporcionar sillarejos que procedentes de piedra de buena calidad y de bancos delgados salgan á bajo precio. Traspasando el ancho de ocho metros puede decirse que en general será preferible el uso exclusivo de tramos metálicos.

Si en tramos de 4 metros en adelante no hay duda alguna que la disposición más ventajosa para las alcantarillas y pontones que no son abovedados es la que acabamos de explicar; esto es: vigas de plancha de hierro con largueros ó traviesas de madera encima de ellas, no sucede lo mismo con tramos de menor luz y mayores de un metro que exijan ya algo más que el simple apoyo de un paso de traviesas. Efectivamente, la altura de las vigas de hierro se hace siempre próximamente igual al décimo de la luz de la obra y si éste es de 1^m 50 ó 2^m 00 por ejemplo, deberia tener aquella tan sólo 0^m 15 ó 0^m 20 que es demasiado poco para permitir la construcción de vigas de plancha y sin embargo no pueden ponerse en su lugar y en igual disposición vigas laminadas porque proporcionadamente á su altura no tendrán sus cabezas más de 8 ó 10 centímetros de ancho y seria pequeño el apoyo que ofrecerían, no decímos á los largueros de madera porque en este caso serian inaplicables, sinó hasta á las traviesas que tendrán poca superficie de asiento. Para obviar estos inconvenientes se ha propuesto y propagado el empleo de dos viguetas doble *T* laminadas, reunidas por un larguero de madera en el cual va fijado el carril, (figuras 16 y 17) y también el empleo de piezas en [en lugar de las viguetas doble *T* y dispuestas como las de la (fig.19.) Ambas disposiciones son muy defectuosas, por que los largueros de madera no duran mas de cuatro á cinco años y es difícil su sustitución; por cuyo motivo nos parecería muy preferible adoptar para cada formilla la disposición de la fig. 20, 21 y 22; pudiéndose hacer los traveseros *a, b, c, d,*..... ya sea con plancha de hierro doblada en doble ángulo recto ó con pedazos de hierro en [de la misma clase que las viguetas y aún de la misma dimensión. Esto permitiría la fácil colocación de largueros de madera ó de traviesas que corresponderían una en cada travesero, y se fijaría por medio de un tornillo en cada uno



de los mismos. A fin de asegurar la invariabilidad de la distancia relativa de las dos formillas se podrían usar tirantes que pasasen al través de tubos ó bién que tuvieran rebordes que apoyasen contra las caras de las formillas que miren al interior de la vía.

En el cálculo de las vigas de las obras de fábrica que constituyen este artículo téngase presente, que para evitar resulten dimensiones demasiado exíguas que no aseguren rigidez bastante al conjunto por más que sean suficientemente resistentes á los esfuerzos de flexión á que están sujetas, convendrá en muchos casos atribuir al hierro un coeficiente de sólo 3 ó 4 kilógramos por milímetro cuadrado de sección y por supuesto que la carga accidental no ha de contarse como en un puente de grandes dimensiones viendo, dadas las separaciones de los ejes, cuantos serán los que podrán estar comprendidos á la vez dentro de la obra y de ahí, por la carga correspondiente á cada eje, deducir la carga total que corresponderá á las vigas. Es frecuente tratándose de ferro-carriles de ancho ordinario tener que suponer, por esta consideración, una carga de 13 toneladas por metro lineal de tramo.

III.—*Servidumbres de paso.*

Pasos á nivel.—No tienen en los ferro-carriles económicos, las servidumbre de paso ó cruce de la vía por los caminos la importancia que debe otorgárseles en una línea principal donde se procura imponiéndose costosos sacrificios suprimir cuantos pasos á nivel sea posible convirtiéndolos en pasos superiores ó inferiores. Esto, bajo el punto de vista de la seguridad en la circulación de los trenes siempre será conveniente; pero en ferro-carriles como los que nos ocupan la circulación, tanto por los caminos atravesados, como por la vía, es relativamente pequeña y menor la velocidad de los trenes, circunstancias ambas que tienden á quitar importancia á estos cruces y si á ello se agrega que en los caminos de mucha circulación, en la mayor parte de los casos convendrá establecer *altos* y aún estaciones, disminuyen todavía estos peligros por las paradas forzosas de los trenes. Empero, siempre que las condiciones de la localidad sean tales que á pesar de lo que diremos en el capítulo tercero sea forzoso



establecer vigilancia constante en un camino determinado, será preciso ó bién construir junto al mismo una casilla de guarda que se podrá ceder á un peon de la vía casado y cuya mujer pueda ejercer el cargo de guardesa del mencionado paso mediante una pequeña retribución de cuarenta ó cincuenta céntimos de peseta diarios; en el supuesto de que se trata de un servicio de día como corresponde á este género de ferro-carriles, que si se tratara de servicio de noche precisaría el empleo de un hombre para el indicado cargo. Si las casillas son muy distantes del paso se deberá poner una garita de madera ó de fábrica junta al mismo y emplear un hombre tanto si se trata de servicio diario como nocturno á menos de haber muy cercana alguna casa de campo donde habite una mujer propia para custodiarlo durante el día.

La construcción de un paso á nivel se reduce á la construcción de dos cunetas cubiertas del ancho del paso siempre que sea necesario conducir al otro lado del mismo el agua de las cunetas de la explanación de la vía y á la colocación de una cadena sostenida por dos pilarotes de hierro á uno de los cuales se sujeta con un gancho remachado en él. En ciertos casos, y esto ocurre con alguna frecuencia en ferro-carriles de mucho tráfico, será necesario colocar rastrillos ó barreras que podrán construirse de madera ó de hierro. En varias obras están descritos y dibujados esta clase de objetos dispensándonos entrar en más detalles respecto de sus diversos sistemas, pero permítasenos que digamos algo de los menos conocidos y que merecen especial mención.

Nos referimos á algunas barreras de cierre automático utilísimas en todos casos, pero sobre todo en pasos ó de mucha circulación ó de grandísima oblicuidad. Vamos á citar los principales sistemas.

1.° Barreras giratorias equilibradas.—De estas barreras hay una bonita aplicación en el cruce de la carretera de Barcelona á Ribas por el ferro-carril de Barcelona á Zaragoza perteneciente á la Compañía del Norte. Cada barrera consta de dos hojas (figuras 23 y 24) de hierro ligero en forma de celosía cuya parte inferior dista unos 25 centímetros del suelo y la superior $1^m,15$ y van montadas en un eje por el centro de cada una, puestos verticales y de los que se cuelgan dichas hojas. Estos ejes han de tener



mucha resistencia para que á pesar del equilibrio que se establece entre las dos partes de la hoja no sean vencidos é impidan el buen funcionamiento de la barrera á causa de su inclinación. El ejemplo á que nos referimos ofrece el caso de un paso muy oblícuo en una carretera ancha y de muchísimo tráfico, donde además se establecieron las cosas de modo que las cuatro hojas se mueven desde el punto donde tiene la garita el guarda y por el solo manejo de dos palancas iguales á las que se emplean para la maniobra de los discos de las estaciones. Las ventajas que esta barrera ofrece á la Compañía y al público son inmensas y se comprenderá que tratándose de una localidad donde hay tanta circulación fué forzoso hacer la maniobra de las barreras por debajo del afirmado de la carretera por medio de cadenas y alambres que corren en las gargantas de poleas y que se plegan en arcos de hierro fijados en la parte inferior de los ejes; arcos que solo tienen un cuarto de círculo y cuya longitud es justamente la longitud que permite recoger ó soltar las palancas de maniobras que hemos dicho se emplean para maniobrarlos. Las figuras representan el conjunto de la disposición de estas cadenas y el emplazamiento de las palancas *a, a.*

Un contrapeso para cada hoja tiende á poner las barreras perpendiculares á la carretera tan pronto como las palancas de maniobra aflojan la cadena ó siempre que el alambre ó cadena se rompe.

El inconveniente de este sistema de barreras es el tener que ocupar el interior de la carretera con los pilares ó ejes de las cuatro hojas lo cual solo podrá hacerse cuando el ancho de la carretera permita aprovechar las tres partes en que queda dividida de este modo. La de la carretera de Ribas estaba muy motivada, porqué el paso central que resulta de $5^{m},20$ está destinado al paso de carruajes de toda especie y los dos laterales, que son de $2,^{m}60$ cada uno, al de los trenes de la tranvía de Barcelona á San Andrés.

2.° Barreras con torniquetes automáticos.—Cuando un paso ha de servir exclusivamente para peatones sin que deba ejercerse en él vigilancia especial se pueden colocar torniquetes de madera ó de hierro que ó bién deberán tener la forma de cruz en proyección horizontal para que siempre queden cerrados ó bién podrán tener la disposición representada en las figuras 25 y



26 en la cual por la ligera tensión ejercida por la doble cadena al colocar la barrera en la posición representada con puntos para lo cual viene justa la longitud de la cadena que en la figura 25 se representa holgada.

3.° Barreras correderas manejadas desde un solo punto.—Conforme indicamos antes, conviene siempre manejar las barreras desde un solo punto: así el guarda lo hace con más rapidez y no tiene que exponer su vida atravesando la vía en momentos en que el tren pueda cojerle. Por esto deben recomendarse las disposiciones que permitan esta cualidad y aún tratándose de barreras correderas podrá conseguirse de varios modos: no obstante su más difícil manejo que las giratorias, así, por palancas como en el caso anterior y contrapesos y también por éstos y la ayuda de una presión hidráulica ejercida en un cilindro. En ámbos casos los contrapesos que tenderán á volver la barrera á su primitiva posición deberán obrar en una cadena arrollada sobre un cilindro *diferencial* en la mayor parte de los casos si se quiere evitar un pozo demasiado profundo donde se mueva el contrapeso, pozo que sería dificil desaguar; pues, la carrera del contrapeso deberá ser igual á la longitud de la hoja respectiva de la barrera que se trata de mover, miéntras que de esta manera puede darse la longitud que se quiera á esta carrera y aún reducirla á la pequeña altura de uno de los pilares de la barrera con lo cual puede conseguirse que quede todo á la vista y no haya necesidad de pozo alguno. Ya se comprenderá que para realizar lo que decimos la cadena que tire de la hoja de la barrera deberá correr cuanto deba correr ésta, se arrollará en un cilindro de diámetro grande y la cadena del contrapeso en una parte de este mismo cilindro de diámetro reducido; de modo, que si L es la carrera de la barrera, l la del contrapeso, D y d los dos diámetros y se quiere para acortar el tiempo de la maniobra que con una vuelta y media del cilindro quede hecha se tendrá la igualdad

$$\frac{L}{l} = \frac{D}{d}$$

de la cual se deducirá d dadas las otras tres cantidades.

Y 4.° Barreras con cierre eléctrico.—Hace poco tiempo se



emplean esta clase de barreras que desde algunos años há habíamos previsto su aplicación.

Las maniobran los mismos trenes á la distancia de 800 á 1000 metros por medio de pedales que establecen una circulación eléctrica pisados por las pestañas de las ruedas. No hay que decir que en esta clase de pasos no se ejerce vigilancia especial y por lo mismo son muy aplicables á los ferro-carriles de poco tráfico.

Pasos superiores é inferiores y modificaciones de servidumbres.— Sin embargo, repetimos, interesa disminuir cuanto sea posible el número de los pasos vigilados y aún el de los que tengan barreras de cualquiera de estos sistemas que su complicación las hace costosas; así es, que para aquellos caminos cuyo cruce no interese aprovechar para una parada, será preferible á tener que hacer gastos en ellos, hacerlos para la construcción de pasos superiores ó inferiores, siempre que la rasante del camino lo permita.

Los pasos correspondientes á caminos de carros deberán tener su rasante todo lo horizontal que sea posible evitando á toda costa grandes rampas que puedan ser causa de la cogida de los carruajes por los trenes si llegaran á atascarse y no se olvidará situarlos en puntos despejados que permitan ver venir los trenes. Deberán además estar provistos de contra-carriles que levanten un centímetro más que el carril; se colocarán solo en el interior de la vía en la mayoría de los casos procurando rellenar con grava el espacio comprendido entre los mismos, y en la parte exterior también en los pasos de mucho tráfico ó de fuertes pendientes hácia la vía, que puedan ser causa de ladear el carril de ésta por la acción de las ruedas de los carruajes difícilmente contenidas por causa de las mismas pendientes. Esto que ocurre mucho en la vía de carril pesado, obligando á hacer frecuentes reparaciones sucedería más en la vía de carril lijero.

En la mayor parte de los casos en que se establecen pasos superiores ó inferiores es necesario desviar los caminos desde el punto donde se hallan al proyectar el ferro-carril hasta el sitio donde la altura del terraplen ó del desmonte permita la construcción de un paso inferior en el primero ó superior en el segundo.

Estas modificaciones, lo mismo que las supresiones de caminos



y reuniones de dos ó más en un solo paso por medio de caminos laterales, exije la formación de expedientes de servidumbres de paso que es preciso llevar á cabo enseguida que se principian los de expropiación forzosa; pues, como estos, exijen mucho tiempo, y de no tenerlos aprobados en la época de la construcción pueden surgir dificultades graves que cuesten muy caras á la Compañía por las hostilidades que los pueblos y los particulares pueden presentarle.

Para la formación de estos expedientes y con arreglo á lo prevenido por R. D. de 14 de Junio de 1854, hay que presentar al Gobierno de la provincia en que estén enclavados los pasos, y por cada término municipal, una relación del estado actual de los caminos, otra de las modificaciones proyectadas y un cróquis (á la escala de 1 por 100) en apoyo y como aclaración de ámbas relaciones.

La disposición de los pasos inferiores es ni más ni ménos que la de los pontones ó alcantarillas y respecto de los superiores vamos á decir algunas palabras.

Ante todo se procurará hacer lo posible para modificar el camino de modo que el paso resulte normal á la vía, cosa que pocas veces será imposible y con lo cual se simplificará mucho la obra y abaratará su coste.

El ancho del puente-paso-superior dependerá de la naturaleza é importancia del camino; pero en la generalidad de los casos bastará un ancho de 4 metros comprendidos los pretiles ó sean 3 metros deducido el espesor de éstos. La altura se procurará reducirla todo lo posible, á fin de que salga más barata la obra, acercándose al gabarit de cargamento de la Compañía, aúnque dejando cierta holgura que nunca deberá ser menor de 10 centímetros en la parte más próxima. La luz podrá ser para una ó más vías y deberá procurarse en todos casos que no pueda tocar en los estribos una portezuela abierta. Para una sola vía ancha bastaría una luz de 4'00 metros y aún puede aconsejarse en razón de la economía, pero es muy frecuente darles 6 metros de luz.

Claro es que podrán construirse estos pasos con tramo de hierro ó con bóveda de fábrica; pero solo se adoptará la primera disposición cuando la altura del desmonte sea muy limitada y siempre que sea posible se preferirá la segunda por ser más barata de construcción y de conservación haciendo la bóveda de medio

punto. Los materiales empleados para que salgan baratos serán solo mampostería y ladrillo como representan las figs. 1, 2 y 3 lám. III, haciendo de ladrillo las aristas y fajas y la bóveda, la cual para la luz de 6^m bastará con que tenga 3 roscas del ladrillo de 15 centímetros de ancho, que se usa en este país ó sea un espesor total de 45 centímetros, construyendo luégo los estribos y muros de las fachadas de mampostería colocando las piedras inmediatas á la bóveda en forma de dovelas de arco para que protejan á las bocas de la bóveda. El espesor de los estribos, deberá calcularse para que sean suficientes á resistir el empuje de la bóveda siempre que los taludes de los desmontes no ofrezcan resistencia bastante, en cuyo caso tendrán la disposición de la fig. 4, pero en la generalidad de los casos el terreno ofrecerá bastante resistencia para poderla aprovechar disminuyendo el espesor y entónces se podrá adoptar la disposición representada en la fig. 3 de dicha lámina.

Un paso de mampostería y ladrillo de las dimensiones dadas como generales, ó sea: 4 metros ancho total del puente, 6 metros de luz del paso y 3,00 metros altura hasta el arranque de la bóveda del medio punto viene á costar próximamente unas 3000 pesetas.

En algunos casos, cuando uno de los estribos no ofrezca resistencia bastante por estar separado ó ser excesivamente bajo, se podrá construir según la fig. 5 que constituye lo que se llama puente de estribo perdido.

Cuando el paso venga obligado en punto muy alto de un desmonte, mejor será construir los estribos muy adosados á los taludes para que estos sean los que contraresten los empujes, y construir la bóveda de arco de 60° ó de asa de cesta. En estos casos podrá ser conveniente hacer dicha bóveda de sillería si no es muy cara en la localidad, por ser material de mayor resistencia.

En fin, siguiendo los mismos principios se pueden construir pasos de aguas para dar salida á las torrenciales acumuladas á un lado de la vía y acueductos, canales, etc., proporcionando los espesores de la bóveda y de los pretiles al caso considerado. Pero si se trata de una simple canal capaz para una pequeña cantidad de agua podrá ser más económico el empleo de canales hechos con hierros en *U* sostenidos por dos columnas formando

el todo un puentecillo de 3 tramos, iguales entre sí los dos extremos y mayor que ellos el central.

IV.—*Puentes y viaductos.*

Lámina III.

Ni hemos de descender aquí el cálculo de las diferentes partes que constituyen los puentes y viaductos, sean de la clase que fueren, ni podríamos hacerlo de la manera concienzuda y extensa que lo hacen varios libros hijos de talentos de primer órden; únicamente hemos de ocuparnos en esta clase de obras bajo el punto de vista de sus condiciones y disposiciones generales aplicables á los ferro-carriles económicos.

Desde luégo, hemos de dejar sentado que dichos puentes deberán ser para una sola vía, ya que tratándose de un ferro-carril que pueda necesitar dos vías no podemos comprenderlo dentro de la jurisdicción de los que nos ocupan, puesto que su tráfico supone una recaudación kilométrica de más de 50.000 pesetas, á no ser que lo exigiera el estar dentro del recinto de una estación. Nada diremos, pues, ó casi nada, de los puentes de doble vía y nos limitaremos á los de una sola.

Respecto á la clase de materiales más convenientes, repetiremos lo que dijimos al hablar de las pequeñas obras de fábrica, y recomendaremos como preferibles, por lo que atañe á su fácil y económica conservación, los de fábrica abovedados. Pero estos no son siempre posibles: los tramos de mucha luz son difíciles y caros de abovedar y ocurre muchas veces la necesidad de dar grandes dimensiones á los tramos para ahorrar pilas cuyas fundaciones son en ciertos casos muy costosas. De aquí nace la necesidad de emplear puentes con tramos de hierro ó de acero.

Puentes abovedados.—Los abovedados se construirán con pilas piramidales ó cónicas de base oblonga, de piedra ó ladrillo y aristas de sillería y las bóvedas análogamente se harán de ladrillos con los arcos de sillería. En caso de ser excesivamente cara la sillería se podrá suprimir aúnque la recomendemos, pero por poco que se pueda será conveniente emplearla ya que dá más solidez á la obra y el exceso de coste en comparación del valor total, es poco sensible tratándose de puentes de alguna importan-



cia. Será siempre muy recomendable hacer cuanto se pueda para evitar que la obra sea oblícua á fin de disminuir su coste y las dificultades de la construcción. Los pretiles se harán de hierro para aumentar el ancho libre de la plataforma del puente. Se construirán contra-bóvedas recubiertas con una capa de cemento ó de asfalto, que á la vez que alijeren la construcción dirijan las aguas pluviales á las dos fachadas del puente ó á los senos de las bóvedas. Si el puente es de muchos arcos como sucede en algunos viaductos convendrá dividirlo en un número impar de partes ó secciones iguales todas entre sí, ó todas ménos la central que se hará un poco más ancha, construyéndolos de manera que por la adopción de pilas muy robustas intermedias puedan subsistir las demás secciones del puente si por cualquiera causa desapareciese una de ellas. Es un muy hermoso ejemplo de esta clase de viaductos el que tiene la línea de Barcelona á Zaragoza en el kilómetro 325 junto á la estación de Olesa, el cual tiene 44 metros de altura y 300 metros de longitud total dividida en tres secciones desiguales de 6 arcos de $11^m,60$ luz la primera, 7 arcos de igual luz la segunda y otros 5, iguales tambien, la tercera, y dos grandes pilas escalonadas formando tres retallos de 15 centímetros espaciados de 8 metros siendo así mismo de 8^m de espesor al arranque de los arcos.

Las pilas sencillas están formadas con iguales retallos pero tienen solo $2^m,65$ en la parte superior resultando de $3^m,65$ de espesor la base de los más altos incluido el zócalo que sobresale cinco centímetros. Este puente es de doble vía como todas las obras de fábrica de aquella línea y si bién en las demás no hay más que una, en éste hay dos vías, la general y el desvío de viajeros de la citada estación.

Tramos metálicos.—Si tienen que ser los tramos de más de 10 metros de luz, en razón de las dificultades que la multiplicación de las pilas presenta, será mejor emplear tramos metálicos.

Clasificación.—Sabido es que estos pueden ser de varios sistemas: los colgantes, que ni aún dándoles la rigidez que en algunos de los de Viena se ha conseguido por el empleo de barras articuladas unidas entre sí por lo alto del puente en vez de cuerdas de alambre, no los podemos recomendar para ferro-carriles que exijen la posibilidad absoluta de cruzar por el puente con la



velocidad de los trenes; los de arco; los de vigas rectas; los llamados *bow-strings*, los Brunel y los americanos.

Estos últimos también creemos deberlos desechar, porque la rotura de una pieza compromete fatalmente la solidez del puente; los Brunel, por su complicación tampoco son á propósito para nuestro objeto; los *bow-strings* á no ser para un solo tramo, no convienen por la falta de enlace de un tramo con otro; y los de arco, que los distinguimos de los anteriores por ser curvas las dos aristas de las formas, solo servirán en casos muy especiales; quedando de todos estos sistemas, como tipo usual y verdaderamente práctico solo el de vigas rectas, y aún de éste hay que eliminar desde luégo, los de tramos independientes por ser más caros y más fácilmente derrumbables no admitiendo más que los de vigas contínuas.

Puentes de vigas continuas.—Proporciones de las vigas.—Éstas pueden ser llenas ó de celosía, siendo las primeras en ciertos casos las más económicas por exigir menos material, aunque á primera vista parezca lo contrario, si bién no se aplican á todos los tramos destinándolas casi exclusivamente á tramos que no excedan de 20 metros para vía ancha y 12 para la vía de un metro. En las vigas de celosía, efectivamente, ya sea por no incluir las barras de la celosía en los momentos de resistencia que han de contrarestar los momentos de flexión, ya por causa de los suplementos de plancha y por las partes de piezas que se doblan y triplican sin aumentar un kilógramo la resistencia que ofrecería la parte aquella si con todo y ser sencilla fuera de una sola pieza, resultan más ligeras las vigas llenas para tramos no muy grandes. Sin embargo, la facultad que dan las vigas de celosía de alejar mucho de las fibras neutras las cabezas de las vigas que es donde reside la resistencia á la flexión, dá ventajas que las vigas llenas no pueden proporcionar, puesto que el alma vertical de éstas no puede, prácticamente hablando, adelgazarse indefinidamente.

La altura de las formas está sujeta también entre ciertos límites que aconsejan la experiencia, tanto con relación á la luz del puente como con respecto al ancho del mismo en sentido transversal á la vía, procurando que esté comprendida entre el $^1/_{12}$ y el $^1/_8$ de aquella y no sea mayor de los $^3/_2$ del último.



De aquí se deduce, que para los puentes de una sola vía los límites son más estrechos, que para los de dos, y lo son tanto más aún, cuanto más estrecha es la vía y el puente. Para una vía de un metro y un puente de 3^{m} de ancho libre ó $3^{m},50$ próximamente de eje á eje de viga, que es suficiente para dicha vía, no convendrá dar á las vigas más de $5^{m},25$ de altura y en el supuesto de que ésta sea el décimo de la luz no deberá ser la última mayor de 52 metros.

En los puentes para vía normal ancha que llegan á veces á 6 metros de ancho dicho límite alcanza hasta 90 metros.

Cuanto más próximas están las formas de un puente una de otra, tanto más económico es su enlace, por lo cual es conveniente reducir esta separación todo lo que sea posible. Dicha separación la limita la estabilidad no haciéndose en la práctica nunca menor que el ancho de la vía, para cuyo límite inferior corresponde cada forma debajo precisamente de uno de los carriles, y si se parte del principio antes sentado de no hacer la altura de las vigas mayor que una vez y media la separación de las formas, resulta, que en la vía ordinaria el límite de altura á que podrán alcanzar las vigas colocadas precisamente debajo de los carriles será $\frac{3}{2}$—1'67 ó 2^{m} 50 y en la vía de un metro, 1^{m} 56; por manera que la mayor longitud de los tramos para esta clase de puentes será 25 metros para los primeros y 15 metros para los segundos.

Este sistema es sumamente económico, porque ahorra la construcción de un tablero costoso con viguetas transversales y largueros de hierro, bastando enlazar las formas con cruces de San Andrés en sentido vertical y en sentido horizontal, como manifiestan las figuras 6 y 7 (lám.ª III), y aún creemos que tratándose de ferro-carriles de poca velocidad como los que nos ocupan, podría reducirse la separación á ménos distancia del ancho de la vía por lo que hace á la estabilidad, si ésta no obligase á la construcción de un tablero resistente que pudiera recibir los carriles. Tratándose de una vía estrecha, mayormente si fuese de ménos de un metro de ancho, es indudable que daría lugar á una solución muy económica, que hasta ahora no se ha empleado, pero que no vemos dificultad en poderse usar para el indicado caso,

el empleo de una sola viga encima de cuya cabeza superior convenientemente reforzada (fig 8) se sentase la vía.

Cuando la separación de las formas es mayor que el ancho de la vía es costumbre colocarlas en el límite del ancho que debe tener el puente, pero no hay inconveniente en ponerlas más próximas siempre que el tablero pueda situarse en la parte superior de dichas formas y miéntras no sea en peores condiciones de estabilidad que las recomendadas. A veces la altura del puente exije no poner dichas formas debajo del tablero, y para estos casos, como para cuando la separación natural de estas permite el paso de la vía por el espacio comprendido entre ellas puede colocarse el tablero ó bién en la parte inferior de las mismas ó en un punto intermedio de su altura. En estos casos hay que tener presente que no conviene dejar mucha altura libre á las formas sin unir sus cabezas superiores, de lo contrario se producen movimientos horizontales al paso de los trenes que podrian ser funestos á la estabilidad del puente.

Suponiendo, como es costumbre en puentes para ferro-carriles de grandes velocidades, que $1^m 70$ es el máximo de altura que se permite á las formas sobre el carril, y que la altura entre la parte superior de éste y la cabeza inferior de aquéllas es $0^m 80$ como resulta próximamente para puentes de 5 á 6 metros de ancho en los puentes con tablero inferior y según representa la fig. 9, solo podrán llegar á una luz máxima de 25 metros admitiendo la proporción del décimo entre dicha luz y la altura de las formas; pasada cuya luz no será prudente dejar las cabezas superiores de las vigas sin trabazón horizontal y por consiguiente deberá colocarse el tablero en un punto intermedio de la altura de las formas (fig. 10,) haciendo de modo que no sobresalga más de la altura que fijamos, pues de este modo el enlace mútuo de las formas se establecerá además de la parte inferior, en el punto intermedio donde se coloque el tablero. En los puentes para vía de un metro cuyo ancho se reduzca á 4 metros el límite de 25 metros podrá reducirse poco, y si se tiene en cuenta que tratándose de puentes destinados á recibir trenes que pasen á poca velocidad puede alcanzar hasta 2 metros de altura libre de las formas sobre el carril resultará el mismo límite antes fijado.

Si el puente que se estúdia es de tramos de 50 metros ó mayores y de vía ancha, la mejor disposición será colocar el tablero



en la parte inferior y enlazar las formas por su cabeza superior dejando libres 4m 50, ó poco más del gabarit del material móvil de la vía; y en las vías estrechas sucederá lo mismo para los tramos de más de 35 metros con el fin de que queden libres unos 3m de altura. En el caso de ser menores de 50ms los tramos, pero próximos á esta dimensión como le sucede al puente sobre el rio Ebro en Zarazoza, que tiene 8 tramos, de 39m 60 los dos extremos y 43m 20 los 6 intermedios, se podrá poner así mismo el tablero en la parte inferior de las formas y enlazar sus cabezas superiores por arcos (fig. 11) en los puntos correspondientes á las pilas y estribos á manera de portales.

Celosías.—Las celosías, pueden construirse formando sus barrotes diferentes ángulos, pero el cálculo demuestra que el más ventajoso es el ángulo recto. Respecto á la distancia de uno á otro barrote, en la práctica se siguen dos sistemas: el de hacer las mallas de la celosía estrechas ó anchas; las primeras se hacen para que los barrotes sean más manejables y porque á algunos ingenieros les produce efecto más agradable á la vista la malla estrecha que la ancha. Realmente, tratándose de puentes de mucha luz resultan muy largos y pesados los barrotes aún haciéndoles dobles, si son de sección de escuadra, que esta clase de sección se emplea mucho además de las de doble de *T*, de las de *U* y aún otras formas, pero casi nunca los hierros planos á no ser que se trate de puentes muy pequeños. Bajo este punto de vista parecen más ventajosas las celosías de malla pequeña; pero, por otra parte, tienen el inconveniente de no poderse apreciar con tanta seguridad la distribución de los esfuerzos como en las anchas por más que los autores hasta ahora no hayan dado en este defecto. Calcúlanse, en efecto, las secciones de los barrotes de las celosías recordando que en un punto de la viga, dado por la abscisa α, dicha viga ha de resistir al esfuerzo tajante equivalente á la derivada con relación á dicha abscisa del momento de flexión correspondiente al punto considerado, esfuerzo tajante que ejerciéndose en un punto A, por ejemplo, de una viga de la forma de la fig. 12, es suportado por los dos pares de barrotes concurrentes en los puntos A y B en partes iguales, al parecer, y de aquí que cada barrote a, suponiendo que puede resistir impune-



mente un esfuerzo *R* por milímetro cuadrado, deberá tener una sección de área

$$S=\frac{A \cos \alpha}{2 R};$$

y decimos que así sucederá, al parecer, porque por las uniones de los barrotes en los puntos *c* y *d* han de modificarse necesariamente estas condiciones y esta modificación es tanto más sencilla cuanto mayor número de barrotes haya, como sucede en la fig. 13 en la cual por haber *n* pares de ellos la sección de cada uno es:

$$\frac{A \cos \alpha}{n R};$$

pero viene modificada por el enlace mútuo de las barras y aún es evidente que no hay la repartición proporcional que esto supone trabajando más aquellas barras que están más próximas á los puntos donde la fuerza se ejerce directamente, esto es, las que están más próximas al tablero.

El Dr. Herr. Fränkel, profesor de la escuela politécnica de Dresde, durante el primer semestre del corriente año puso de manifiesto la defectuosidad del cálculo de estos puentes aplicando á los mismos un aparato automático-registrador de su invención, por el cual se viene en conocimiento de la magnitud y naturaleza de los esfuerzos que sufre cada una de las partes ó piezas de una construcción metálica y gracias al que, operando sobre un puente de celosía de gran malla, se dedujo que la divergencia que existe entre los esfuerzos que el cálculo atribuía á las barras y los que realmente sufren no excedía del 9 por 100, miéntras que aplicado á los puentes de malla pequeña, si bién en los barrotes próximos á los apoyos no daba una diferencia mayor del 4 por 100 llegaba á 46 por 100 hácia el centro de los tramos: diferencia notabilísima que hace presumir un error de apreciación que casi llega al 50 por 100.

Es digno de notarse que el aparato de Herr. Fränkel aplicado á un puente de celosías calculadas según el método casi desconocido y muy complicado de Manderla, en el cual se tienen en cuenta las uniones de las barras entre sí y los momentos de flexión que en ellos se producen, los resultados de la teoría se separan muy poco de los obtenidos por el aparato de comproba-



ción. Desde esta reciente fecha los constructores se han apercibido de las desventajas de las celosías tal como se calculan por lo general, habiendo dado lugar á que lo hiciera presente ante la *Société des Ingenieurs Civils de Paris* en Julio último el conocido y reputado constructor Mr. Seyrig.

En los puentes, pues, de vigas rectas de celosía, para los ferrocarriles que nos ocupan, no convendrá emplear más que los de malla grande.

Tableros.—Cuando las formas principales de un puente no coinciden debajo de los carriles y es necesario por lo mismo la adopción de un tablero sobre el cual vaya sentada la vía se podrá construir de dos maneras: ó bién colocando los carriles encima de largueros de madera de unos 5^m de longitud, 28 centímetros de ancho y 15 centímetros de altura media que salven el espacio de $0,^m60$ á $0,^m80$ que queda entre cada dos viguetas de hierro de sección doble *T*, macizos, que van de una á otra forma y cuyos largueros á veces son reforzados por escuadras ú otras piezas de hierro, ó bién colocando las viguetas transversales espaciadas en el sentido de la longitud del puente de 3 á 4 metros uniéndolas despues entre sí en el sentido de la longitud de la vía por largueros doble *T* de hierro que se correspondan con la parte inferior de los carriles y sobre los cuales se sujetan estos, sea por largueros de madera como en el caso anterior, sea por traviesas espaciadas de 50 á 60 centímetros de centro á centro.

Los largueros de madera, cuando se empleen, será útil no excedan de 26 centímetros de ancho y 4^m00 de longitud, por encontrarse mucho más barato en el comercio el metro cúbico de maderas de esta dimensión que de los de 5 metros de largo y 28 ó 30 centímetros de ancho. Por supuesto que si se trata de vía estrecha todavía podrá reducirse la escuadría á $0'15 \times 0'11$.

Sobre las traviesas tienen la ventaja los largueros, de apoyar los carriles en toda su longitud quitando el peligro que la rotura de un carril puede ofrecer al paso de los trenes en cambio de la mayor facilidad con que se rompen los últimos por hendirse á lo largo de sus fibras, siguiendo la línea de los tirafondos ó escarpias, y de la mayor dificultad que presentan para cubrir el espacio comprendido entre los carriles y que algunos con impropie-



dad llaman entrevía. Tienen también la ventaja de ofrecer mayor superficie de asiento á los carriles.

Cuando se empleen traviesas, se procurará que éstas sean de las dimensiones ordinarias para poder utilizar cualesquiera de las que se tengan disponibles para la vía.

Ambos sistemas, según queda dicho, tienen sus ventajas y sus inconvenientes, por lo que ambos tienen sus partidarios, pero si atendemos al objeto principal de los ferro-carriles de poco coste que es la economía, casi siempre serán más baratos los largueros á condición de dejarse descubierto el espacio comprendido entre la vía, con lo cual se facilitan mucho las operaciones y vigilancia para la conservación del puente por más que el estar descubierta sea una dificultad para el tránsito de peatones por la vía.

Proporcionalidad de los tramos.—Aparte de lo que hemos dicho sobre los límites que pueden alcanzar los tramos metálicos según sea la disposición general del puente, aparte también los inconvenientes que los cauces ofrecen en ciertos casos para el aumento del número de pilas, ya sea por las dificultades de su cimentación ó ya por el coste de las mismas si han de ser de mucha altura, todo lo cual debe tenerse en cuenta al proyectar un puente y aún al proyectar un trazado de ferro-carril, procurando en lo posible disminuir la altura y reducir la magnitud de los tramos, aparte todo esto decimos, deben tenerse en cuenta también ciertas proporcionalidades entre las luces de los tramos aconsejadas por la práctica y el cálculo á fin de evitar los perniciosos efectos del peso de un tramo grande en las cercanías de otro pequeño, y con la mira de que el material esté bién empleado Desde luégo, es más común la adopción de un número impar de tramos haciendo el central mayor que los otros, generalmente iguales y simétricos. Sin embargo, en puentes de mucha magnitud hay exigencias tales, debidas á las condiciones del rio, que obligan á no seguir regla alguna y al empleo de tramos de distinta especie cuya reunión mejor se parece á una reunión de diversos sistemas de puentes. Pero, esto ocurrirá rara vez en ferro-carriles económicos, pues las condiciones topográficas del terreno no lo exigirán, y las condiciones técnicas del trazado permitirán evitar cuidadosamente tales dificultades.



En los largos viaductos mismos, sucederá lo que acabamos de indicar con mayor motivo, ya que en ellos las dificultades son siempre menores que en los puentes y aún en éstos puede establecerse más igualdad de tramos evitándose los centrales.

Las proporciones que generalmente se emplean son las que fija M. Bresse en su notable obra «Cours de mecanique appliquée» en los cuales la relación δ entre la longitud de un tramo intermedio y uno extremo varía de 0'7 á 1,3 y para las que ha calculado las fórmulas de su formulario y trazado los diágramas ó envolventes de las líneas de momentos de flexión para las diferentes hipótesis:

Carga y coeficientes de resistencia para el cálculo.—La carga móvil de los puentes, por metro lineal, no es tan grande en ellos como en los pontones y alcantarillas y lógicamente hablando, sólo debe determinarla la clase de material móvil que se deberá emplear supuesto reunido de una vez el más pesado, por más que las exigencias del gobierno á veces no estén basadas en este principio, cosa que si es justa y razonable en líneas de mucho tráfico y de las condiciones ordinarias no lo es en las líneas excepcionales de que tratamos.

La resistencia admitida oficialmente para el hierro es por lo general en España, de 6 kilógramos por milímetro cuadrado en las piezas de hierro destinadas á resistir los esfuerzos de flexión y 5 kilógramos en los que han de contrarestar los esfuerzos tajantes; y si bién en los puentes de gran tráfico aún creemos conveniente disminuir de un kilógramo cada uno de estos coeficientes, en los de poca circulación son muy aceptables, y aún con una conservación asídua y esmerada podría aumentarse de un kilógramo, pues no hay duda que la mucha velocidad de los trenes y la frecuencia de la circulación acortan considerablemente la vida de esta clase de obras aflojando roblones que debilitan la solidez del conjunto, hacen más temibles los efectos de un descarrilamiento, y transforman, quizás, la textura del material.

En los puentes de acero llega á darse á éste una resistencia de 12 kilógramos por milímetro cuadrado y aún se llega á 14 y á 16 kilógramos en los grandes puentes de arco, que no serían posibles con hierro, y ni siquiera con acero de 12 kilógramos de coeficiente. No obstante, para los puentes de condiciones



ordinarias no será prudente atribuir al acero más de 12 kilógramos y aún quizás 12 K sea demasiado, pues si bién en esta clase de construcciones civiles puede dársele algo más que si se tratara de trabajos de calderería, recuérdese que en dos trabajos nuestros, uno publicado en la pág. 176 de la REVISTA TECNOLÓGICO-INDUSTRIAL del año 1882 bajo el título. *Perfeccionamientos de los generadores de vapor*, y otro que vió la luz pública en la misma REVISTA en el año 1883, página 209, referente á *Roblonados*, el cual bién puede servir de complemento al primero y aún á éste en lo que se refiere á las construcciones de hierro, en ambos trabajos, decimos, se demostró que para aquella clase de construcciones solo debia darse al acero una resistencia de 8 kilógramos por milímetro cuadrado de sección. Solo que aquí, como se trata de obras que no están tan sujetas á alteraciones de resistencia y de espesores, como en las calderas, puede irse algo más allá en cuanto á dicha resistencia.

Sabido es que el acero se fabrica hoy día de diferentes composiciones, dando lugar á clases más ó ménos maleables y más ó ménos resistentes, con la particularidad de tender hoy día algunos ingenieros á dar mayor aprecio, del que hasta ahora se había concedido, á las clases dulces que tienen ménos resistencia que las duras. Pero si en puentes de luces ordinarias es admisible, y aún recomendable, no sucede lo mismo con las obras atrevidas de mucha luz y en las cuales como queda dicho hay que partir de una resistencia práctica de 12 ó más kilógramos; pues si para los primeros la resistencia á la rotura es de 40 kilógramos, para los segundos, es frecuentemente de 70 y aún puentes ha habido en los que se ha empleado acero Bessemer, que ha resistido hasta 78 kilógramos. Y en verdad, no hay razón para hacer temibles estos aceros duros siendo así, que si bién no ha trascurrido tiempo suficiente desde que se principiaron á construir puentes de acero para que la experiencia dé su autorizado fallo en favor ó en contra de los mismos, hay el ejemplo de la muy superior resistencia que el acero duro ha demostrado, ante el hierro en la construcción de ciertos órganos de máquinas: en la construcción de ejes de vagones, y más todavía, en la de ejes acodados de locomotoras, que han resistido un recorrido medio de 300,000 kilómetros sin romperse, cuando los ejes acodados de hierro de la mejor clase no resistian más de 30,000 kilómetros de recorrido.



Esta incontestable superioridad prueba la mucha confianza que se puede tener en el acero, y si se tiene en cuenta que los precios del hierro y de aquel están poco más ó ménos en la relación de 3 : 3'5; si se observa que supuesta igual la densidad de los dos metales las cantidades de hierro ó de acero necesarias para un puente estarán evidentemente en razón inversa de los coeficientes de resistencia práctica de ambos materiales, 6 y 10 supongamos, el coste de un puente de acero en función del coste de otro igual de hierro, vendrá dado por la expresión

$$V' = \frac{6 \times 3'5}{10 \times 3} V = 0'70\ V$$

en la que *V* es el coste del puente de hierro. Es decir, que un puente de acero costará solo el 70 p % ó las tres cuartas partes próximamente, de lo que valdría hecho de hierro. Si se tratara de un puente de gran luz que exigiera un coeficiente de resistencia grande la ventaja sería mayor todavía.

Para el cálculo de las viguetas transversales no se considera que estas estén simplemente apoyadas por sus extremos, porque realmente están más que apoyadas; pero, tampoco es tan sólido su enlace con las formas, aunque se sujeten con la celosía por medio de planchas triangulares bién dispuestas, que equivalga á un empotramiento. De aquí, que los constructores las consideren como medio empotradas, apreciación sancionada en España por la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos y admitida ya como corriente en el cálculo de estas piezas.

Por análogas razones, cuando se colocan largueros de hierro entre estas viguetas transversales, para servir directamente de apoyo á los carriles, se consideran también semi-empotrados y aunque estos y aquellos resisten perfectamente, establecidos en tales condiciones, es seguro que su trabajo es distinto del que se supone, ya que por su enlace con las formas los convierte en parte integrante de éstas y deben de experimentar los efectos de la flexión de las mismas.

Otros detalles.—En los puentes que se construyen en cauces secos ó poco impregnados de agua, se podrán hacer las pilas y estribos de piedra ó ladrillo sin ninguna dificultad; pero si por el contrario el agua es abundante, ya sea en la superficie del terreno, ya en el interior del mismo, se habrán de tomar pre-



cauciones y aún se deberán adoptar sistemas especiales de construcción.

Si el agua no es más que superficial y se puede desviar para dejar en seco el punto donde se haya de sentar la pila se desviará y si no es posible ó si el agua abunda debajo del cauce además de los procedimientos antiguos con pilotes, etc., se podrán emplear cimentaciones especiales que vamos á resumir á los cuatro sistemas que citaremos brevemente.

1.° Se puede emplear la fábrica de ladrillo y mampostería para construir el revestimiento de un pozo de igual sección que la pila y hacer bajar dicho revestimiento ó bién construyendo una cámara de trabajo abovedada y socavando por debajo de las paredes del revestimiento ó bién montado dicho revestimiento encima de una caja análoga á una caja de pozo hecha con madera sola, con madera y hierro, ó toda de hierro con una arista aguda en la parte inferior que vaya hundiéndose en el terreno á medida que se vaya quitando tierra del interior. Este sistema exigirá agotamientos de las filtraciones por medio de bombas de potencia proporcionada á la cantidad de agua que mane.

2.° Puede facilitarse la operación anterior empleando para cada pila un par de tubos de palastro de 2,m50 de diámetro en la parte superior y 2,m50 al nivel de las máximas avenidas las cuales si no es mucha la cantidad de agua se podrán hundir socavando á brazo y agotando el agua hasta alcanzar el terreno sólido. Dichos tubos se revisten interiormente de un forro de ladrillo de 30 centímetros de espesor apoyado en una banqueta al efecto construida en la parte inferior del tubo, que se terminará con un pequeño trozo cónico formando cuchillo para facilitar el hundimiento. Una vez hundido el tubo se rellenará con mampostería el hueco que quede en el interior de los tubos.

Y 3.° Se podrán terminar los tubos de palastro con cámaras de doble puerta para trabajar con aire comprimido á una presión algo mayor que la ejercida por la altura del agua que gravita en el fondo del tubo, con la cual se evitará la entrada de dicha agua.

Cuando se trabaje sin aire comprimido como en el primero y segundo caso se podrá emplear una escavadora mecánica para ahorrarse el agotar á medida que baje el tubo, que es como lo está haciendo actualmente la *Maquinista Marítima y Terrestre* en



la hinca de las pilas de los cinco puentes que construye para el ferro-carril de San Martin de Provensals á Llerona ó sea la prolongación del de San Juan de las Abadesas hasta Barcelona.

La escavadora que dicha sociedad emplea es como las que construye Bruce et Batho de Lóndres y extrae medio metro cúbico en cada operación que dura unos cinco minutos. Consiste en tres uñas de la forma de uso esférico que juntas forman un hemisferio y las cuales por la acción de una barra vertical y un juego de varillas se abren al bajar el aparato y se cierran al subirlo. Dicho aparato se cuelga de una grua giratoria y se puede subir y bajar á brazo ó por una pequeña máquina de vapor saliendo así la escavación á unas 7 pesetas el metro cúbico hasta una profundidad de 5 metros.

El asiento de las formas encima de las pilas y estribos se hace por el intermedio de placas de asiento lisas para puentes que no tengan más de 12 metros cayendo en desuso las placas con múltiples pequeños rodillos, y para puentes mayores se emplean rodillos grandes uno en cada apoyo, puestos en un grueso bastidor que reparta la presión sobre el apoyo en una extensión superficial suficiente.

Arcos metálicos.—La solución económica y técnica de los grandes tramos existe en las vigas curvas, no como los *bowstrings* que tienen un lado recto y otro curvo, sino en las verdaderas vigas en arco, ya sea de lados concéntricos ó mejor de lados excéntricos, figuras 14 y 15 (lám. III), y en el empleo del acero. Hemos visto, en efecto, que la práctica aconseja ciertos límites á las proporciones de los tramos rectos en razón de su estabilidad al paso de los trenes, y el cálculo demuestra que la longitud de tramo posible depende de la resistencia del material; pudiéndose salvar mayores distancias cuanto más resistente es el empleado. El más elemental sentido práctico da ya á comprender los superiores que las vigas curvas han de ser respecto de las vigas rectas, y nótese que esta clase de vigas se separan de las vigas de forma de igual resistencia apoyadas por sus dos extremos que tienen su sección máxima en el centro, pues el cálculo demuestra que hay ventaja en disminuir la sección de la viga de los estribos al centro del tramo, siendo por lo mismo preferibles las vigas de sección variable á las de sección constante.



Sin embargo, hasta há poco tiempo, apenas se han construido más que las de arco de circunferencia de sección constante á causa, sin duda, del desconocimiento que se tenia de su teoría, pudiéndose decir que M. M. Seyrig y Eiffel, son los que han impulsado este sistema con los puentes del Garabit y del Duero, estudiados y construidos por ellos. No ha faltado quién pusiera en duda las ventajas de los puentes de arco, dando lugar á una discusión ante la Sociedad de Ingenieros Civiles de París, en la que Mr. Bodin atacó vivamente y con animosidad, tal vez, los puentes de arcos metálicos y sobre todo los dos que acabamos de citar, diciendo que son ménos económicos que los de vigas rectas, áun cuando sean de menor tramo y tengan más pilas que cimentar. Pero, como todos sus cálculos se apoyaban en números que dijo le suministró Mr. Eiffel y éste declaró falsos, cayeron por tierra todos los argumentos de Mr. Bodin sin que consiguiera hacer prosélitos.

Los arcos de círculo, metálicos, hacía algún tiempo que estaban en uso, especialmente los de fundición, pero temian los constructores construir tramos de longitud atrevida y salir del arco de círculo de sección uniforme; bién, que hasta cierto modo no era de extrañar, porque la ciencia no había encontrado ninguna teoría para su cálculo. Ahora, ya es otra cosa, la ecuación general de la curva de flexión aplicada á las vigas curvas de sección variable ha sido tratada: por M. Bresse en sus «Recherches analytiques sur la flexion et la resistence des piéces courbes» aparte de la teoría de las vigas cuya capa de fibras neutras está en arco de círculo tratadas en la primera parte de su «Cours de mécanique apliquée;» por Mr. Rankine en su «Manual of civil engineering;» por Herr Winkler en «Die Lehre von der Elasticitat und Fustigkeit;» por Herr Culmann en «Die Graphische Statik;» por Mr. W. H. Burr en «A course on Stresses in Trusses, Arched Kibs, and Suspension Bridges» Nueva-York, Wiley and Sons, 1880; por M. de Dion en una Memoria leida el año 1975 ante la Sociedad de Ingenieros Civiles de París y en un trabajo póstumo más completo y mejor estudiado que ante la misma Sociedad dieron á conocer M. M. Molinos y Seyrig al hacer la necrología de tan ilustre ingeniero en Abril de 1879; por Mr. I. B. Chalmers en su «Graphical Determination of Forces in Enginiering Structures,» Macmillan, 1881; por Sig. C. Cera-

dini en la Revue Universelle des mines (Julio de 1882) y finalmente por Mr. Max. Am. Ende, autor de varios proyectos de puentes importantes, de los cuales podemos citar como más notables: uno sobre el Firth of Forth formado por dos tramos en arco de 1600 piés de luz (488 metros), otro intermedio de 400 piés (122 metros) en arco también y varios tramos á cada extremo de los primeros, con vigas contínuas rectas; y otro sobre el Duero de 180 metros de luz con dos tableros uno de 8^m ancho situado á $11^m 85$ sobre el nivel del estiage y otro de 6^m situado á 60^m de altura.

El procedimiento general que se emplea para el cálculo queda reducido á la determinación de los esfuerzos *máximos maximorum*, que en el sentido de las cabezas de la viga se ejercen en cada punto, porque una vez conocidos estos esfuerzos se deduce la superficie de la sección dividiéndolos por la resistencia que se quiera atribuir al metal y que nosotros hemos fijado antes en 6^k por milímetro cuadrado para el hierro laminado, y 10^k para el acero. A la fundición no se le deberá atribuir más de $2^k,50$.

La determinación de los esfuerzos exije el conocimiento prévio del peso propio del puente y de aquí resulta que como en todos los cálculos de vigas es preciso suponer antes una sección aproximada, hacer el cálculo con ella y despues si se quiere mayor exactitud repetir dicho cálculo con la sección resultante del primero. Los constructores generalmente se contentan con hacer el primer cálculo y no se preocupan mucho de su rectificación. Se necesita además saber; cuáles serán los pesos aislados que obrarán sobre las vigas curvas; cual la carga uniformemente repartida, ya sea encima del arco, como cuando se trata de una cercha para una cubierta metálica, ó ya encima de un tablero horizontal; esto es, que carga obrará por unidad de longitud del arco en el primer caso ó por unidad de longitud de la proyección horizontal del mismo en el segundo; la dilatación producida por el aumento de temperatura y la presión del viento. Todo esto queda atendido con las ecuaciones generales de equilibrio siguientes:

$$Q - Q' - \Psi = o$$

$$T + T' - \Pi = o$$

$$\mu = 2\,T\,l$$

para arcos de forma cualesquiera convirtiéndose la última en la

$$\mu = 2\,T\,\rho\,sen\,\varphi$$



para las vigas de forma de arco de círculo de sección constante. Las dos primeras de dichas fórmulas expresan la nulidad de la resultante de traslación, y la tercera el equilibrio de la pieza por la igualdad de movimientos.

En ellas, T, Q, T', Q', son las sumas de las componentes de las reacciones ejercidas en los puntos de apoyo A, B, según la horizontal y la vertical, (fig. 16, lámina III)

μ la suma de los momentos de las fuerzas que actúan en el arco,

ρ, el rádio de la fibra neutra del mismo arco,

φ, el ángulo $B\,O\,E$ de la vertical con los rádios de los arranques,

Π, la suma algebráica de las fuerzas exteriores verticales,

Ψ, la suma algebráica de las fuerzas horizontales,

l, la mitad de la luz,

Como cada fuerza se puede reemplazar por dos componentes, una vertical y otra horizontal, aplicadas ambas al centro de elasticidad de la sección sobre la cual obre la primera, y por un par de fuerzas que den lugar á la deformación de la pieza, se determinará el empuje que en cada extremo dé lugar cada una de estas componentes, por la dilatación ó concentración lineal por causa de las variaciones de temperatura, por el peso propio y por la carga uniformemente repartida. Pero en esta determinación de componentes no debemos entrar por ser objeto ya de un asunto bastante ageno á nuestros propósitos y remitimos á las obras mencionadas á aquellos de nuestros lectores que quieran profundizar la materia; añadiendo de paso que no nosparece exacto lo que hace M. Bresse, en su interesante obra «Cours de mécanique apliquée» suponiendo en todos casos la carga colocada encima mismo de la capa de fibras neutras, pues fácilmente se puede demostrar que no es despreciable la influencia que el estar en la parte superior del arco puede ejercer, ya que la altura de éste es en ciertos casos de algunos metros y representa un brazo de palanca importante.

Mr. Winkler es el autor del método de determinación de las curvas de las intersecciones y las envolventes de las reacciones concurrentes de un arco, método que es indudablemente el más satisfactorio de los hasta ahora conocidos, porque por medio de estas curvas es posible no tan sólo calcular de una manera elemental los esfuerzos que obran en un punto cualquiera del arco para una carga dada, sino también ver de una ojeada cuáles car-



gas producen esfuerzos máximos y mínimos en cualquiera parte. El método de Winkler es, sin embargo, analítico y las referidas curvas son solamente una comprobación de las deducciones analíticas. No obstante, el autor lo aplica sólo á ejemplos de arcos de sección constante y de forma regular, casos que en la práctica difícilmente se presentan y aunque á menudo puede establecerse cierta analogía entre cada caso práctico y una de las formas que pueden considerarse de una manera puramente analítica, sin el riesgo de grandes errores en los resultados, hay todavía muchos casos en los cuales el admitir semejantes analogías sería transigir demasiado con el error.

Mr. Max. Ende en su estúdio sobre el puente del Duero amplía el método de Winkler á los arcos de forma irregular dando un paso más en esta complicada teoría.

No se crea que supongamos exentos de inconvenientes los puentes de arco: tienen algunos que no carecen de importancia. Salta desde luégo á la vista su falta de estabilidad á igual separación entre las formas principales, porque el centro de gravedad del sistema se halla más elevado y viene agravada esta instabilidad por la acción del viento que así mismo obra sobre un centro de presión más alto obligando esta condición á separar más dichas formas y á la adopción de contrafuertes, con detrimento de la economía en el coste de la obra. El tablero puede ocupar en estos puentes como en los de viga recta diferentes posiciones: puede estar por encima de las formas, por debajo de ellas y á una altura intermedia entre sus arranques y su cúspide. En los tres casos el enlace de dicho tablero con las formas es más difícil y más caro por la mayor cantidad de material que exije que el enlace en los puentes rectos, siendo éste otro de los defectos que tienen. Las variaciones de longitud del arco por causa de los cambios de temperatura da lugar, además de las presiones ejercidas contra los puntos de apoyo en los estribos, á que el tablero suba y baje de nivel y á que las formas mismas dejen de apoyar en toda la extensión de su asiento, si bién esto último se corrije fácilmente ó bién articulando la viga por sus extremos en los referidos apoyos ó bién en éstos y además en el vértice del arco como manifiestan las figuras 14 y 15.

Lo expuesto creemos bastará para dar á conocer las condiciones principales de los puentes de vigas curvas, á fin de saber la

clase de utilidad que en ciertos casos pueden prestar y cuándo convendrá adoptarlos, y si bién como ya hemos indicado en los ferro-carriles de grandes pendientes y pequeños radios y en general en toda clase de ferro-carriles económicos pocas veces será inevitable la adopción de grandes tramos, no tenemos duda que en muchos casos estos puentes pueden ser de mucha utilidad.

V. Túneles.

En un ferro-carril de la clase de los que nos ocupan no se presentará indudablemente el caso de tener que construir un túnel de mucha longitud, porque ó bién el ferro-carril ha de dar rendimientos para poder emplear un capital grande por kilómetro y entónces entrará ya en la categoría de los ferro-carriles ordinarios ó el capital posible será limitado y entónces exigirá un trazado económico que siga las ondulaciones del terreno con curvas de corto rádio, fuertes rampas y vía estrecha y de este modo disminuirá muchísimo la longitud de los túneles y sucederá como afirmamos, que en los ferro-carriles de poco coste no se dá el caso de presentarse grandes túneles. Esto mismo hace presumir, el hecho de que los grandes túneles corresponden á las grandes cordilleras, y éstas por lo común se hallan al interior de los continentes y no cerca de su periferia por cuya razón las líneas que las atraviesan son de mucha longitud y aún internacionales que exijen según los principios que venimos sustentando y que desarrollaremos más extensamente en el capítulo tercero.

Puede ocurrir, empero, la construcción de túneles de corta longitud y para estos vamos á entrar en algunos detalles.

No es posible precisar con exactitud, y muchas veces ni aproximadamente, la naturaleza del terreno que se encontrará al abrir un túnel, por más que se hagan exploraciones geológicas que nunca serán más que superficiales, como tampoco se puede saber si se presentarán manantiales de agua abundantes; por esta razón es siempre hipotético el presupuesto de construcción de un túnel, presupuesto que puede variar según las dificultades del terreno, entre 500 y 4000 pesetas el metro lineal.

Hay que distinguir al propio tiempo las condiciones totalmente distintas de los túneles ordinarios abiertos para dar paso al



través de una montaña y ejecutado á la manera de una mina, de aquellos que se construyen principiando por abrir el desmonte en toda su altura para edificar después la bóveda constituyendo lo que se ha dado en llamar *túneles artificiales* y cuyo objeto es la consolidación de un desmonte, siendo frecuente llevar á cabo esta consolidación al cabo de algunos años de estar en explotación el ferro-carril y en vista de los desprendimientos frecuentes de los desmontes.

Según sea la dureza del terreno interesa dar una ú otra forma á la sección transversal del túnel la cual, por consiguiente, no depende sólo del ancho de la vía y del gabarit del material móvil. Si el túnel debiese servir como puente para atravesar una masa de agua sumergido en el seno de la misma, como que prescindiendo de los esfuerzos accidentales debidos al paso de los trenes, el túnel en este caso estaría sometido á una presión próximamente igual en todos sentidos la forma más lógica para resistir á estas presiones sería la cilíndrica. Por esta misma razón la sección de los túneles que hayan de construirse en terrenos fangosos ó muy poco consistentes debe afectar la forma circular continuando su bóveda por debajo de la vía, hasta constituir un cilindro completo.

En los demás casos, y aún tratándose de terrenos eminentemente flojos, pueden estar sujetos los túneles á un esfuerzo dominante en un sentido particular. Cuando esto suceda, el buén sentido práctico aconseja disponer la mayor dimensión de la sección del túnel en aquel sentido sin dejar de darle la forma de bóveda en toda la extensión de su perímetro; pues sabido es, que cuanto más peraltadas son las bóvedas con respecto al sentido de su carga, mayor es su estabilidad. Sin embargo, este caso ocurre pocas veces, aúnque á la verdad sucede con más frecuencia de la que se cree, á no ser que se trate de la simple acción de la gravedad ó sea de la presión ejercida de arriba abajo que es la más frecuente.

Por otra parte, el ancho de la vía, el número de vías para que se hace el túnel y el gabarit del material móvil, modifica muchas veces la forma de la sección en razón de conseguir economía en el coste de la obra que saldría muy cara en la mayor parte de los casos si solo se atendiera á su resistencia en cuanto á la forma y á la naturaleza de la vía ó vías en cuanto á sus dimensiones:



ambas condiciones se han de tener en cuenta y de aquí la variedad de tipos adoptados y que vamos á exponer aparte de otros muchos cuya adopción es debida á la falta de racionalidad de los proyectistas, y de los cuales nada diremos.

Algunas compañías construyeron sus túneles para doble vía dándoles la entrevía mínima de 1^m,80 permitida por la ley sin que hasta ahora apesar de los muchos años que hace están en explotación se haya sentido la necesidad de establecer dicha doble vía, habiéndose gastado por esta causa un capital que no ha sido proporcionalmente reproductivo. Esta experiencia ha hecho que otras compañías y aún las mismas antes aludidas, posteriormente, hayan adoptado túneles de una sola vía. Esto mismo que en España ha pasado ha ocurrido en Francia y otros países, pues la doble vía cuando se ha establecido se ha creído conveniente llevarla por otro camino que la primitiva para atender á otras poblaciones antes aisladas ó para establecerla en condiciones distintas que ésta y poder hacer en ella trenes de naturaleza distinta. De otro lado, una línea que ántes de los 30 años pueda necesitar la doble vía por el exceso de tráfico, ya no es una línea de escaso tráfico y sale de los límites marcados en la presente Memoria dedicada á los de poco tráfico y de poco coste, y fundadamente con mayor razón están léjos de poder sentir tal necesidad los ferro-carriles de vía estrecha.

Resulta, pues, que decididamente: *«los ferro-carriles de poco coste hay que construirlos con túneles de una sola via.»*

En cuanto al ancho de estos túneles con respecto á la holgura que hay que darles sobre el gabarit del material móvil hay dos pareceres distintos: unos opinan que deben hacerse suficientemente anchos para que puedan pasar los coches con las portezuelas abiertas y otros juzgan supérfluo este aumento de gasto limitando la sección al gabarit del material móvil con una sola holgura de unos 20 centímetros. Nosotros respecto de esta materia hemos de manifestar que están bién basadas ámbas opiniones y no puede darse una regla general para todos los casos. Desde luégo se echa de ver que si el ferro-carril ha de ser sumamente económico para que sea posible, no hay que titubear y adoptar los túneles de sección muy reducida pero si esta economía no ha de llevarse tan al extremo se podrán construir en las condiciones fijadas por los primeros.



Si se opta por los túneles de la más reducida sección será indispensable practicar en sus estribos *refugios* que permitan guarecerse los agentes de la vía que en el desempeño de su cargo puedan verse obligados á guardarse de los trenes en el interior de aquellas obras. Estos refugios tienen generalmente 2 metros de altura, $1^{m},20$ de ancho y $0^{m},60$ de profundidad y su número ha de ser mayor si se trata de túneles de más de 100 metros de longitud, que no permitan retirarse oportunamente los obreros que puedan trabajar en ellos para el arreglo de la vía en número que en ciertos casos puede ser relativamente considerable. Para estos túneles los refugios deben espaciarse de 10 metros de centro á centro medidos en el eje del túnel y aún que algunos opinan deben situarse alternativamente en uno y otro lado del túnel, son más los que creen preferible estén todos en un mismo lado.

En vista de todas las consideraciones que dejamos expuestas, hé aquí los tipos que pueden adoptarse como preferibles en los casos ordinarios de la práctica, según nuestro humilde parecer.

Cuando el terreno atravesado es roca consistente que no amenace desprendimiento de piedras por la descomposición de las mismas por la acción del tiempo ó por la acción de la trepidación producida por el paso de los trenes y de las emboladas de la máquina se podrá adoptar la forma representada en la figura 25, lámina III, sin colocar ninguna clase de revestimiento.

Cuando en esta naturaleza de terrenos se teman desprendimientos de pequeñas piedras por las causas indicadas, se deberá poner un revestimiento que bastará tenga el espesor necesario para que se sostenga por sí sólo pues realmente no ha de estar sometido á esfuerzos exteriores sino más bién á servir de tapiz de las rocas recortadas, y se conseguirá dándole $0^{m},30$ en túneles de vía estrecha si se revisten de ladrillo y $0^{m},45$ en túneles de vía ancha, fig. 26 si se revisten de mampostería.

Si se trata de terrenos de mucha consistencia y de los cuales no sea de temer desprendimientos de su bóveda se podrá consruir según la fig. 26 con la bóveda poco peraltada y aún en simple semicírculo, con los estribos algo curvos.

Si se temen desprendimientos laterales y superiores se adoptará el tipo de la fig. 27, y en fin, en terrenos sumamente blandos y movedizos el tipo de la fig. 28.

Indudablemente que en otros casos muy especiales se motiva-



rá la adopción de otros tipos todavía, pero en realidad con estos se puede atender á todas las necesidades tratándose de túneles en recta y en principio á las curvos también. Empero, en éstos, á causa de la desnivelación de los carriles de la vía, los vehículos se inclinan hácia el interior de la misma y de ahí que á la sección de los túneles curvos sea conveniente darle mayor curvatura hácia la parte superior del gabarit y como en los ferro-carriles que nos ocupan hay curvas de reducidísimo rádio que exijen mucha sobre elevación resulta que de ningún modo debe dejarse de tenerla en cuenta y modificar, por ejemplo, el tipo de la fig. 27, destinado para los terrenos de buena y usual calidad según la disposición del tipo fig. 28.

El sistema de construcción de los túneles depende de su longitud y de la naturaleza del terreno, y como ésta es materia explicada con detención en tratados especiales y sumamente extensos, nos limitaremos á decir pocas palabras refiriéndonos á lo ménos público.

Lo primero que se pregunta el ingeniero al ocuparse de túneles al proyectar un ferro-carril, es: ¿cuándo debe dejarse de construir desmontes para principiar la perforación de túneles? Pregunta que no puede contestarse de una manera absoluta, pero que por regla general podemos satisfacer al decir, que en teniendo los desmontes más de 17 metros de cota en una longitud de 50 metros se podrá construir túnel en vías anchas y se hará lo mismo en teniendo más de 13 metros de altura para las vías de un metro. No es la diferencia de coste la causa determinante de lo que es conveniente hacer como parece á primera vista, porque en general el coste de un túnel es suficiente para ejecutar un desmonte de muchos más metros de altura de la fijada. Pongamos por caso un túnel que haya costado 1000 pesetas el metro lineal, que será el precio de un túnel revestido de regular longitud en terreno formado por arcilla consistente y para vía ancha. En esta clase de terreno el desmonte podrá tener un talud de 3 de altura por 2 de base; de modo, que siendo 7 metros el ancho del desmonte en la parte inferior y h la altura, el área de la sección de dicho desmonte en función de dicha altura será

$$\left(\frac{2}{3}h + 7\right) h$$



y este mismo el volúmen de las tierras extraidas por metro lineal; cuyo volúmen al precio de 1'50 pesetas el metro cúbico valdría pesetas

$$1'50 \left(\frac{2}{3} h + 7\right) h$$

De este valor, supuestos iguales el coste del desmonte y el del túnel, se tendrá la ecuación de 2.° grado

$$1'50 \left(\frac{2}{3} h + 7\right) h = 1000$$

y de la cual despejando la altura h se hallará

$$h = 32^{m},05$$

Es decir, que en las condiciones fijadas, miéntras no llegue á 32^{m}, la altura del desmonte será más económico éste que túnel; pero es necesario atender al propio tiempo á las necesidades de la explotación que no aconsejan desmontes de mayores cotas que las citadas antes, por los desprendimientos que producen y lo difícil que es recorrer los taludes en grave peligro de los trenes y aumento en los gastos de conservación.

Cuando la longitud del túnel es importante si no se abre en una montaña muy alta podrá ser ventajosa la perforación de pozos que permitan atacar el túnel por muchos puntos á la vez, pues cada pozo proporciona dos puntos de ataque, con lo cual se puede reducir mucho el tiempo necesario para su perforación y quizás disminuir el coste de la obra; pero en las grandes montañas no es posible. En casos dados se pueden sustituir los pozos por galerías horizontales ó inclinadas que salgan á la vertiente de la montaña. Desgraciadamente sobre estos recursos no pueden fijarse reglas y ha de ser el constructor mismo quién con su buén criterio y por la práctica adquirida prevea cuál método de ejecución será más adecuado, sin dejar de prepararse para el caso de encontrar agua al perforar. Si el túnel puede estar en pendiente y es de poca longitud como sucederá en la mayoría de los que entran en ferro-carriles de escaso coste la mejor disposición en previsión de dar salida al agua que puede aparecer será abrirlo por el extremo más bajo.

No se abren los túneles en toda su sección desde un principio sinó que por el contrario se principia por construir una pequeña



mina capaz tan sólo para dar paso á pequeños vagones volguetes de transporte de tierras haciendo que su centro de figura ó de gravedad coincida próximamente con el centro de gravedad de la sección definitiva. Esta mina provisional se acodala si es de temer algún desprendimiento que pueda encerrar á los obreros, interín se aguarda el momento de ensancharla y esto se hace, bién sea en toda su área para hacer el revestimiento después, bién cortando los estribos antes que la bóveda para llenar aquellos antes de recortar esta, bién, y esto es muy común, construyendo el revestimiento de la bóveda antes que cortar la tierra de los estribos y construir éstos por pequeños trechos después que la bóveda está ya ejecutada. Este método tiene la ventaja de simplificar considerablemente las cimbras y evitar la elevación de los materiales además de la estabilidad que permite á la parte escavada.

Es indispensable no olvidar la construcción de cunetas en todos los túneles mayormente si es de temer la humedad que tan perniciosa es para la vía. Muchos opinan que basta la construcción de una cuneta central cubierta como representa la fig. 27 para el buén desagüe del túnel; pero nosotros opinamos que sólo tratándose de túneles cortos muy secos puede tolerarse semejante sistema de lo contrario la obstrucción de la cuneta por el balasto que en ella se acumulará y la destrucción dc la misma por efecto de la trepidación de la vía es segura y rápida. Creemos mucho mejor construir dos cunetas una á cada lado de la vía, cubiertas si se quiere para facilitar la circulación de los agentes de la vía á ménos que se trate de túneles tan estrechos que no quede materialmente sitio donde colocarlas.

El agua que se filtre de la bóveda ó de los estribos se conducirá á las cunetas perfectamente impermeables para que sus filtraciones no dén lugar á la destrucción de los cimientos, como en un caso práctico quehemos presenciado, y deberán conducirse también por detrás del revestimiento de la bóveda y estribos dejando conductos verticales y aberturas cerca del nivel de los carriles como manifiestan las figuras que hemos descrito ya, construidos con material hidráulico para asegurar su impermeabilidad.

Los materiales de que hay que hacer la obra de fábrica de los túneles son: la mampostería irregular dejada á cara vista sin en-



cintados, lo que constituya los estribos, y sillarejo si en la localidad se le encuentra barato ó ladrillo grueso en caso contrario para la bóveda, y tanto en los estribos como en la bóveda se empleará mortero algo hidráulico aún que el túnel sea completamente seco y eminentemente hidráulico si hay filtraciones abundantes. La bóveda se hace con trozos de cuatro á cinco metros de longitud procurando cuidadosamente enlazarlos entre sí, por dientes dejados al efecto.

Es muy común construir las bocas de los túneles de sillería, pero tratándose de economizar dinero no hay el menor inconveniente en hacerlas de mampostería concertada con ladrillo.

Los túneles que hemos llamado artificiales se construyen á cielo abierto, razón por la cual salen baratos y luégo de construida la bóveda se recubre ésta por una chapa de hormigón hidráulico de 5 á 10 centímetros de espesor y el todo con una capa de tierra de un metro de grueso, cuyo principal objeto es servir de mullido á las piedras que se desprendan del desmonte y que de no haber dicha tierra podrían perforar la bóveda. La fig. 29 dá idea de la disposición de estos túneles y por ella se verá que hay que dejar una ó dos cunetas en la parte superior, que tengan salida á las fachadas del túnel por canales hechos con ladrillo ó con piezas de tierra cocida curvas, como las que se emplean para formar la bóveda de pequeñas minas, y se ponen ligeramente inclinadas ó se les adhiere un poco de cemento en su extremo á la manera de un pequeño labio para que las aguas que viertan no se arrastre por el paramento de la fachada.

Un túnel de esta clase viene á costar 400 pesetas el metro lineal después de la escavación del desmonte.

En terrenos flojos se recomienda la adopción de contra-bóveda por debajo de la vía, porque hay que esperar en los mismos, empujes laterales debidos á los grandes desprendimientos que puedan sobrevenir y se procurará dar á estribos y bóveda espesores suficientes para que por la acción de las cargas permanentes y accidentales probables no salga la línea de presiones de las condiciones que la teoría de la estabilidad de macisos aconseja.

Hemos tenido ocasión de comparar dos túneles artificiales colocados en condiciones semejantes y miéntras el uno que tenía contra-bóveda por debajo de la vía no ha experimentado ningún



contratiempo resistiendo perfectamente el empuje de uno de los taludes del desmonte extremadamente flojo, el otro que sólo tenía algunas cadenas de mampostería espaciadas de 3 á 4 metros se destruyó completamente en términos que se hubo de quitar y si bién las fuerzas exteriores á que estaban sujetas podían ser más importantes para el segundo que para el primero, por más que puede asegurarse que tanto daba que hacer uno como otro de los dos desmontes antes de la construcción de los túneles, estamos bién convencidos que á no haberse roto las cadenas ó contrafuertes inferiores hubieran resistido mucho más tiempo.

Abrigos para las nieves.—En los ferro-carriles que suben á alturas de más de 1000 metros sobre el nivel del mar hay que preocuparse sériamente de las interrupciones que las nieves pueden ocasionar, de lo contrario es muy posible se haga un mal servicio durante la temporada de invierno. Para ello se construyen unos parapetos de madera conocidos con el nombre de para-nieves, á lo alto de los desmontes y en otros parajes, puestos transversalmente á la dirección de los vientos constantes en aquellos sitios en los cuales los ventisqueros acostumbran á acumular las nieves. Para acertar en la elección de los parajes donde deban colocarse los para-nieves no se construyen hasta que la línea está en explotación y se conocen practicamente los puntos más perjudicados.

En otros parajes, sobre todo cuando la vía pasa por laderas muy escarpadas donde se reuna la nieve al caer llevada por el aire y resbalando por los acantilados, no bastan los para-nieves ordinarios y es preciso cubrir la vía por medio de túneles artificiales que rara vez podrán ser de obra de fábrica, porque aparte de su mayor coste no es necesaria tanta resistencia y basta un simple cubierto de madera sostenido por piés derechos del mismo material colocados en bruto para ahorrar la mano de obra necesaria á su labra. Tal sucede, por ejemplo, en el ferro-carril del Semring, donde está protegida la vía á lo largo de toda la ladera anterior al puente de piedra curvo que cruza el torrente y el puente mismo, por una construcción de esta índole.

No hay que decir si es defectuoso este sistema por la escasa duración de la madera y por lo fácil que es prenderla fuego; pero no hay otro remedio que pasar por estos inconvenientes si



no se quiere caer en otros peores, como la construcción de túneles de fábrica que sobre costar mucho dinero son difíciles de construir por faltar algunas veces apoyo á uno de los estribos ó por el entorpecimiento de la circulación.

En fin, cuando se trate de verdaderos acantilados, que por su índole de roca dura no hace temer empujes horizontales y aún permite impunemente cortar el talud formando ligeramente cueva, se podrá adoptar la disposición de la fig. 30.

VI.—*Desmontes y terraplenes.*

Por el artículo anterior queda dicho cual es el límite superior de la altura de los desmontes y del que la práctica aconseja no pasar y en cuanto al ancho de la parte inferior ó sea al nivel de la plataforma de la vía, hay también cierta elasticidad aunque no tanta como para la altura. Desde luégo dependerá del calibre de la vía, de la mayor ó menor comodidad que se desee á la circulación de los agentes que se ven obligados á caminar por ella, de la calidad del terreno, y hasta el coste influirá en ciertos casos; pues claro está que cuanto más duro sea el terreno, sobre ofrecer mayor estabilidad y ménos peligro de desprendimientos será más caro el arranque y podrá disminuirse el ancho al límite más reducido.

Si se trata de un ferro-carril de vía ancha, de condiciones ordinarias se le dará 7 metros de amplitud que se distribuirán como marca la fig. 17 (Lám.ª III); si de un ferro-carril de 1^m podrá dársele $5^m,50$ como representa la fig. 18.

Pero, si se quiere llevar al extremo la economía, se podrá suprimir uno de los paseos *a* y aún una de las cunetas, tomando entónces la forma y dimensiones de las figuras 19 y 20, y quedando de un ancho de $5^m,75$ para la vía ancha y $4^m,50$ para la estrecha, con lo cual se gana $1^m,50$ en la primera y $1^m,00$ en la segunda.

También se pueden suprimir los dos paseos *a* quedando los anchos reducidos respectivamente á $6^m,00$ y $4^m,50$, en cuyo caso será muy útil construir refugios como en los túneles.

En muchos ferro-carriles, en fin, se disminuye la base de la banqueta de balasto que nosotros hemos supuesto hasta ahora de una vez y media el espesor de la capa de aquel material, re-



duciéndola hasta el uno por uno y aún á ménos; pero, esto es inútil, porque por sí sólo va tomando la disposición que le hemos dado y lo que resulta entónces es que tapa el paseo *a* quedando el perfil transversal sin ella ó muy reducida.

La inclinación de los taludes depende de la naturaleza del terreno variando entre la vertical y la inclinada que tiene por base ½ y por altura 1. Hay mucha arbitrariedad en la fijación de los tipos de taludes, que se acostumbran reducir á corto número, resultando de aquí que unos desmontes dén que hacer á la conservación más que otros; y no cabe otro procedimiento, pues sobre no poderse precisar con toda seguridad cuáles terrenos se hallarán, no conviene separarse de lo proyectado en cuanto quepa para evitar errores de presupuesto, á no ser que resulte economía de la variación adoptada. Estas inclinaciones no deben forzarse mucho en las líneas económicas, porque la explotación sale cara y casi no se puede salir de lo que en general se ha hecho en España en la mayor parte de ferro-carriles de la red general, ya que pocos se han hecho con suaves inclinaciones. Hé aquí, pues, los límites á que se puede llegar:

En los terrenos construídos por margas y arcillas esquistosas, especialmente las azules no se les dará más de 2 de altura por 3 de base; en los arcillosos flojos 1 por 1; en los arcillosos fuertes, 2 de altura por 1 de base; en los formados por terrenos de aluvión, con cantos rodados de más de 6 centímetros de diámetro, generalmente alternando con capas de terrenos arenosos fuertes 3 de altura por 1 de base; á los formados por rocas tiernas ó heladizas igual inclinacion que la anterior y finalmente los de rocas fuertes no heladizas 5 de altura por 1 de base.

En la construcción de desmontes como en la de los túneles es en la clase de obras donde pueden salir más fallidos los presupuestos hechos, porque no se conoce con seguridad la clase de terreno que se encontrará. Sin embargo, mucho puede valer el hacer numerosos sondeos hasta la profundidad donde deba establecerse la plataforma, precaución que rara vez se toma. Los precios deberán fijarse segun las clases de terreno halladas por la sonda y es muy conveniente hacer precios uniformes entre un perfil y otro no abonando á los contratistas la piedra á un precio y la tierra á otro, etc., sino todo el desmonte comprendido entre



los perfiles considerados á un mismo precio con lo cual se evitan no pocas reclamaciones y divergencias en la valoración.

Además, no se alterarán en lo más mínimo los perfiles proyectados, dejando sin abonar todo aquello que se desmonte de más, y si ocurre el caso, que por aumentar un desprendimiento tenga que ensancharse el desmonte más de lo propuesto se examinará detenidamente si la causa de su producción es el mal sistema empleado en el trabajo ó si es independiente de dicho sistema, abonándose solo en este caso su valor al contratista.

En cuanto á los procedimientos de ejecución son los de siempre: zanjas escalonadas, empleo de carros y sobre todo el uso de vías estrechas de 40 ó 60 centímetros con vagones volquetes que por lo ménos cubiquen dos metros, siendo tanto mejores cuanto mayores sean; y como auxiliar más reciente, el uso extendido de la dinamita, aún en tierras de mediana consistencia, aplicada en agujeros profundos que apoyen en las partes más consistentes y que permitan remover una gran masa de tierras, para que sean después fácilmente derrumbables. Un procedimiento, del que no sabemos se haya hecho uso, si no es en trabajos muy recientes, se empieza á emplear por unos contratistas italianos en la construcción del ferro-carril de San Martín de Provensals á Llerona, que hemos citado en otro lugar, consistente: primero en practicar una mina al nivel de la plataforma de la vía, siguiendo el eje de ésta y suficiente para permitir el paso de vagones de vía muy estrecha; luégo se abren pozos del menor diámetro posible que acaben con un agujero de más 60 centímetros en la bóveda ó techo de la misma y separados según sea la altura del desmonte, de unos 30 metros, ó más, ó ménos, á discreción del director del trabajo y finalmente se va ensanchando la boca superior de estos pozos convirtiéndolos en conos que se acercan por estas bocas haciendo las veces cada uno de ellos de grandes tolbas, que van tragándose la tierra del desmonte y vertiéndola al interior de la mina dentro de la cual se van distribuyendo los vagones que se han de cargar, poniéndolos debajo de cada uno de los pozos. Tan pronto están llenos los vagones se cesa el arranque y se reunen para llevarlos al descargadero. Si la tierra que se arranca es arcillosa de alguna consistencia, se comprende que el procedimiento ha de dar buenos resultados mayormente haciendo la operacion con dos ó tres juegos alternados de va-



gones, que por medio de un desvío puesto á la proximidad de la mina se puedan reemplazar inmediatamente los cargados por otros vacíos á fin de que los obreros no pierdan tiempo.

No se olvide al proyectar los perfiles de los desmontes la necesidad de conducir las aguas que se reunan á la parte más elevada de los mismos, construyendo al efecto cunetas superiores que se cuidará no se aproximen más de 1,^{m}50 de la arista de los desmontes.

Se procurará que en cuanto lo permita la economía del trabajo se equilibre el volúmen de los desmontes con el de los terraplenes, para evitar el tener que hacer depósitos ni préstamos de tierras; pues aquí es más bien que en los perfiles transversales donde debe buscarse la baratura de la obra, no importando que por término medio sea un cinco por ciento mayor el de los últimos que el de los primeros.

El ancho de la parte superior de los terraplenes está sujeto á las mismas condiciones que el ancho de los desmontes en la parte comprendida entre las aristas interiores de las cunetas de caja ó inferiores. Así pues, el perfil transversal puede afectar una de las formas representadas en las figuras 21, 22, 23 y 24 correspondiendo á la vía ancha las dos primeras que exigen respectivamente un ancho de 5^{m},61 y 5^{m},11, y á la vía de un metro las últimas, que dan una amplitud de 4^{m},20 y 3^{m},70. No debe aconsejarse nunca la supresión de ambos paseos *a*, porque puede dar lugar á desgracias personales por la cogida por los trenes de los agentes que en el cumplimiento de su cargo vénse obligados á pasar por la vía, á no ser que se pongan refugios, consistentes en unas mesetas de un metro cuadrado á los lados de la vía y á distancia de 15 á 20 metros unas de otras.

El talud de los terraplenes no puede variar entre límites tan extensos como el de los desmontes, porque las tierras una vez escavadas ó una vez perdida su cohesión natural, tienden á obrar como la arena tomando por sí solas una inclinación más uniforme. De aquí; que sea muy común el dar á los terraplenes 1 $^{1}/_{2}$ de base por una de altura por ser el más aproximado y más general de los taludes afectados por las tierras abandonadas á sí mismo, este es el que aconsejamos. No obstante, cuando el terraplen se haga con piedra ó arcilla muy dura que no se vuelva jabonosa

con el agua se podrá llegar hasta darle 1 de altura por una de base.

En cuanto á consolidación de desmontes y terraplenes hay mucho que decir, y es asunto que en un proyecto bien hecho no se debe descuidar, presupuestando cantidades adecuadas al terreno que se atraviesa, aúnque no pueda formularse con seguridad pensamiento alguno concreto hasta que se practiquen las escavaciones. Los medios propuestos son muchos, cada uno de los cuales tienen su particular aplicación, y en la imposibilidad de examinarlos detenidamente vamos á tratar de agruparlos y exponer lo más saliente y más práctico en los terrenos que ordinariamente se presentan en los ferro-carriles españoles, recomendando el estudio de las obras de Mr. Sazilly y de Mr. Bruère á aquellos de nuestros lectores, que quieran adquirir conocimientos más detallados.

Principiemos por los desmontes, que son los que pueden dar más que hacer, pues, los terraplenes son mucho más fáciles de defender. Los procedimientos empleados en los desmontes pueden clasificarse en: medios de *contención*, de *descarga*, de *desecación* y de *recubrimiento*.

El medio más eficaz es siempre el de descarga; esto es, el recortar los taludes hasta darles mucha suavidad; pero frecuentemente incompatible con la economía por lo excesivo volúmen de tierras á escavar, y, sin embargo, en ciertos casos, no hay más remedio que hacerlo así, tales son, las arcillas flojas, y margas esquistosas azules, si bien puede contribuir á la consecución de estos fines la desecación del terreno. Esta, se consigue con tubos de *drenaje*, con zanjas rellenas de piedras, con minas ó galerías, etc., cuidando, en lo posible, que estas salidas artificiales corten trasversalmente la línea de máxima pendiente de los hilos de agua ó de la simple humedad.

La contención se hace con muros de tierra ó de mampostería. en seco ó con mortero y el recubrimiento se efectúa con muros delgados, empedrados, mantos de tierra consistente y plantaciones. Además de estos medios, empléanse á veces los túneles *artificiales* y los muros con ancha banqueta, mas con el objeto de evitar que las tierras y piedras, que caigan vayan á parar á la vía, que con el de que la caida tenga lugar.

Nada tenemos que añadir al primer medio: el de la descarga

de los taludes, despues de lo que hemos manifestado con respecto á su inclinación, añadiendo solo que si bien permite trabajar con mucha baratura el poder dejar en forma de caballeros las tierras extraidas de las trincheras, no deberá permitirse nunca en terrenos flojos porque su peso favorece los desprendimientos.

Muros para la consolidación de desmontes.—Los medios más comunes de contención son los muros de piedra, que tratándose de desmontes no habrá que darles el espesor que se deduce del cálculo fundado en el empuje de las tierras removidas; porque, sobre resultar un volúmen muy considerable que implica un gran coste tampoco hay necesidad de ello, ya que los ángulos de las líneas de máximo empuje, con respecto á la vertical, son menores y se deducirán en cada caso, de los taludes que antes hemos fijado. De modo, que los prismas de presión serán los comprendidos entre el presunto plano de resbalamiento y el talud del desmonte, y su volúmen nos permitirá apreciar su empuje.

En pocos casos ocurrirá tener que aplicar muros de sostenimiento tan altos como el desmonte, limitándose en la mayor parte de los casos á su mitad ó tercio inferior y especialmente al terreno flojo que queda debajo de los bancos de piedra que haya, ó entre ellos. Si los bancos de piedra á que aludimos son muy fuertes bastará apoyarles con pilares de uno ó dos metros de ancho por un metro de grueso, espaciados de cuatro á cinco metros, y si se temen socavaciones en los huecos así formados se recubrirán con muros de unos cuarenta centímetros de espesor.

El sentido práctico, es, más que otra cosa, el que ha de servir de guía en este género de obras, y hasta, la mayor parte de las veces, será preferible dejar que el tiempo manifieste de una manera clara y precisa lo que es conveniente hacer ahorrando, mientras tanto, el interés del coste de las obras que de ejecutarlas desde un principio sería necesario invertir; sin exponer por esto la vía á interrupciones que desde luego pueden preverse.

Otro medio de consolidación de desmontes,—Cuando por causa de la humedad, ayudada de la falta de cohesión de las tierras y aún de la existencia de capas inferiores inclinadas y más fuertes se rompe un enorme prisma, que poco á poco va resbalando hacia



la vía, el medio de consolidación que hay que emplear y que hasta ahora nos ha dado buen resultado, consiste: 1.º En construir un gran cunetón superior de 4 ó 5 metros deprofundidad, y en general de la que sea suficiente á romper la capa de resbalamiento, y recubrir, luego, con un muro en seco de un espesor de $\frac{1}{5}$ ó $\frac{1}{6}$ de su altura, rellenando despues, con tierra buena, apisonada, el resto de la zanja; 2.º Construir al pié del talud un muro de mampostería y tierra de mucho espesor (10 ó 12 metros, si la cantidad de tierra es importante), á cuyo fin se dispone una caja de mampostería formada por un suelo de piedra en seco de 80 centímetros de espesor, inclinado convenientemente para poder extraer las aguas que en él se acumulen por medio de una cuneta hecha con material hidráulico; una de las paredes de esta caja, la que más se separa de la vía, es un muro en seco de un espesor de $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{5}$ de su altura, que llegue desde el fondo de la caja hasta el talud de las tierras, y la otra pared es otro muro de mampostería ordinaria contiguo á la vía de muy poca altura y de un espesor que no baje de la mitad de ésta. Dicha caja se rellena con tierras arcillosas de buena calidad, que adquieran consistencia con el apisonado que se hará á medida que se vayan extendiendo y se extenderán por capas de unos 30 centímetros de espesor, regándolas abundantemente. Y 3.º, en desecar la masa formada por las tierras y mamposterías comprendidas entre el cunetón superior y este refuerzo inferior, no sólo por los muros en seco que á manera de drenajes conduzcan fuera el agua que llegue hasta ellos, sino por minas convenientemente dispuestas para que recojan todas las filtraciones. De este modo se llega á conseguir una masa inmensa de tierra sustraida á las causas determinantes del movimiento, y es más eficaz todavía si dicha masa se recubre con tierras de buena calidad con taludes suaves, escalonados y céspedes que eviten la acción superficial de las aguas, su filtración y la corrosión de la superficie por causa de la mismas. No debe olvidarse nunca que el agua es un poderoso enemigo de toda clase de construcciones de tierra y hay que prevenirse constantemente contra ella: no obstante, debemos confesar, que hemos visto ciertos terrenos arcillosos compactos que resisten las filtra-

ciones con toda seguridad por abundantes que sean; pero como esto no es lo común no hay que contar con esta probabilidad mientras no esté comprobada.

Los terraplenes exigen á veces tambien, saneamientos para evitar que se corran hacia uno de los lados sobre todo si están sentados en terreno inclinado y poco permeable. Otras veces para contener sus taludes se construyen en la parte inferior de los mismos, muros de tierra compacta y bien apisonada, ó se contienen con estacadas, plantaciones de árboles, etc.; sin embargo, siempre que el terreno no sea muy caro y que el metro cúbico de terraplen no cueste mucho, será preferible dejar que las tierras tomen todo el talud que su naturaleza exija.

Muros de contención.—Cuando por causas verdaderamente motivadas no es posible dar la amplitud debida á un terraplen, tal sucede al atravesar una población, al lamer una carretera ó una corriente de agua, cuya desviación sea muy costosa, etc., se podrá construir entre muros de contención y vamos á decir algunas palabras respecto á la construcción económica de estos, que serán igualmente aplicables á toda clase de muros de esta especie, que por cualquiera motivo deban emplearse.

El espesor de los muros de contención se determina, como es sabido, procurando, de una parte, que el momento de estabilidad del muro sea mayor que el momento de la fuerza con que el prisma de empuje solicita al muro, y de otra, haciendo que la resistencia de cohesión del muro ó la resistencia al rozamiento de la parte superior del mismo sobre la inferior con respecto á un plano horizontal cualquiera, sea en cada punto mayor que la citada fuerza correspondiente en aquel punto. Para llenar cumplidamente la primera condición, se hace el momento de estabilidad del muro doble del momento del empuje, en cuyo caso queda satisfecha siempre la segunda condición.

Para cada naturaleza de tierras distintas el empuje, ya hemos dicho que era diferente, dependiendo su mayor ó menor intensidad del mayor ó menor ángulo que forma el plano de rotura con la vertical. Para poder establecer un término de comparación, supongamos que se trata del caso más común ó de tierras de regular consistencia cuyo peso por metro cúbico es de 1600 kilógra-



mos, cuyo ángulo de rotura es de 46°50′, y que el muro es de mampostería ordinaria pesando 2200 kilógramos por metro cúbico. El empuje es sabido que en general es:

$$Q=\frac{\delta\, h^2}{2} tg.^2 \frac{1}{2}\alpha. \;\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

en cuya expresión, δ es el peso del metro cúbico de tierras, h la altura de las mismas y α el ángulo del plano de rotura con la vertical. Y aplicando los valores supuestos resulta, para el extricto equilibrio de un muro de paramentos verticales

$$e' = 0'213\ h$$

Puesto, que hemos dicho, que para la debida estabilidad debíamos hacer el momento del muro doble del momento del empuje resulta:

$$2h\, e'\, \delta \frac{e'}{2} = h\, e\, \delta \frac{e}{2}$$

de donde

$$e = e' \sqrt{2}$$

$$e = 1'4142\ e' = 1'4142 \times 0'213\ h$$

$$e = 0'3012246\ h$$

ó sea sensiblemente: *el espesor de un muro de paramentos verticales es igual al tercio de la altura.*

Pero puede conseguirse la misma solidez dando al muro formas especiales que permitan ahorrar mampostería, procurando simplemente que si el área de la sección del muro disminuye, lo que equivale á decir, que disminuye su volúmen y su peso, aumente, en cambio, el brazo de palanca, de tal modo, que sea constante el producto; es decir, se ha de procurar que el centro de gravedad de la sección se aleje cuanto sea posible de la arista exterior al rededor de la cual tiende el muro á girar. De aquí, que los muros con talud exterior sean muy favorables á la economía, tanto más cuanto mayor es el talud, y los de talud interior lo sean poco.

Esto sentado, fácil es averiguar cuál es la influencia que la forma del muro puede tener y se hallará, que la misma estabilidad ofrecerá un muro de paramentos verticales cuyo espesor sea de 0,30 de la altura, que un muro de un talud exterior de $\frac{1}{5}$ (esto



es, por uno de altura la quinta parte de base), cuyo espesor en la parte superior sea 0'1214 h; que un muro de un talud exterior de $\frac{1}{10}$ y un espesor de 0'2055h arriba, tambien; que un muro con talud de $\frac{1}{20}$ y espesor de 0'2513h; etc., lo cual resumimos á continuación:

						Espesor.	Volumen por metro lineal.
Un muro vertical requiere					e=0'3012 h ó sea próximamente	$e=\frac{h}{3}$	V=0'3012h²

Y equivale á:

Un	muro con talud	exterior de	$\frac{1}{20}$	y requiere	e=0'2513 h	id. id.	$e=\frac{h}{3}$	V=0'2764h²
Id.	id.	id.	$\frac{1}{10}$	id.	e=0'2055 h	id. id.	$e=\frac{h}{4}$	V=0'2555h²
Id.	id.	id.	$\frac{1}{5}$	id.	e=0'1214 h	id. id.	$e=\frac{h}{8}$	V=0'2214h²

En cuya tabla se vé, que el talud de $\frac{1}{20}$ ya es poco ventajoso respecto del muro de paramentos verticales; siendo el de $\frac{1}{5}$ el que lo es más.

Los muros con talud interior ya hemos dicho que ofrecen muy poca ventaja, por cuya razón se deben desechar y en caso de no ser posible el talud exterior se emplearán muros escalonados interiormente, que si en sí se hallan en igual caso que los ataludados interiormente tienen cuando ménos la ventaja de ayudar á su estabilidad el peso de las tierras que cargan encima de los retallos. En este caso, suponiendo un talud que pase por el centro de los escalones como equivalentes á estos se hallará que el

	Espesor.				Volumen por metro lineal.
Muro vertical requiere.....	e=0'3012 h ó sea próximamente			$e=\frac{h}{8}$	V=0'3012 h²
Id. con escalones interiores					
equivalente á un talud de $\frac{1}{20}$...	e=0'2563 h	id.	id.	$e=\frac{h}{4}$	V=0'2813 h²
Id. id. id. id. $\frac{1}{10}$...	e=0'2148 h	id.	id.	$e=\frac{h}{5}$	V=0'2648 h²
Id. id. id. id. $\frac{1}{5}$...	e=0'1222h	id.	id.	$e=\frac{h}{8}$	V=0'2222 h²

Lo cual prueba lo que acabamos de decir, y comparando con la tabla anterior se verá que no son muy notables las diferencias que en economía ofrecen las dos clases de muros que recomendamos.

Los de contención más económicos, son los de contrafuertes exteriores y talud exterior, los cuales llegan á economizar muy cerca de un tercio de la mampostería que exigiría un muro de paramentos verticales sin contrafuertes. Desgraciadamente, pocas veces se pueden construir esta clase de muros por el estorbo que ocasionan los contrafuertes.

En ellos se acostumbra á dejar un intervalo de unos tres metros entre dos contrafuertes consecutivos; estos se hacen de un metro de ancho y su salida se determina por la expresión

$$x = \frac{h}{c}\left(-4 \pm \sqrt{12 + 0'36\, c^2}\right),$$

tratándose de paramentos verticales, en la que $\frac{h}{c}$ es el espesor del muro y se vé que cuanto mayor sea *c* menor resultará x; de modo, que conviene hacer bien delgado el muro para conseguir economía. Pero, esta regla tiene una limitación práctica para que el muro no se curve entre uno y otro contrafuerte, por cuya razón no se hace $\frac{h}{c}$ menor de $\frac{h}{6}$ y lo mejor es hacer dicho espesor como Talabot igual á $\frac{h}{4}$

Los muros con contrafuertes interiores ofrecen poquísimas ventajas y deben desecharse recurriendo solo á ellos cuando no sea posible otra solución; pues, casi no se consigue más que fraccionar la cantidad de tierra que les empuja, variando muy poco el brazo de palanca del momento de resistencia.

En fin, otra clase de muros de contención son los de paramentos de sección ortogonal curva, que se van generalizando de algún tiempo á esta parte, creyendo algunos que deben ser los más económicos, porque se asemejan más á la forma que toma el talud natural de las tierras, que en la base se extiende más que en ninguna otra parte. Sin embargo, á nuestro entender, no está justificada por la teoría esta opinión; porque si relacionamos la altura del muro y el espesor del mismo, que son las dos úni-

cas variables del problema, puesto que el empuje para un caso determinado es una cantidad constante, y si bien varía tambien con la altura, es fácil tener una ecuación en la que quede eliminado dicho empuje, de esta manera:

La ecuación de equilibrio de momentos, llamando Δ el peso por metro cúbico de mampostería; y ε, al coeficiente de estabilidad, será

$$e\,h\,\Delta \times \frac{e}{2} = Q\,\frac{h}{3} \times \varepsilon$$

y sustituyendo el valor de Q, sacado de la expresión (1) se tendrá

$$e\,h\,\Delta \times \frac{e}{2} = \delta\, h^2\, tg^2 \frac{1}{2}\,\alpha \times \frac{h}{3}\,\varepsilon$$

de donde

$$e = h\; tg^2 \frac{1}{2}\,\alpha \sqrt{\frac{2\,\delta\,\varepsilon}{3\,\Delta}}$$

Expresión en la cual no entran más variables que la h y la e, y que nos dá la ecuación de una recta de la forma $y = x\,a$.

VII. Via.

Balasto.—Excepto al tratarse de casos muy especiales que están fuera de lo conveniente al conjunto de una vía, y sobre todo, en el caso de estar ésta sentada en una calle adoquinada ó en una carretera engravada, forma el lecho ó cimentación de toda vía una capa de *balasto* cuyo objeto es repartir su presión en una mayor superficie de terreno, darle elasticidad, permitir fácilmente corregir los defectos de nivelación, y conservarla seca y á cubierto, en parte, de la acción del sol. Por considerarlo cimiento de la vía es porque principiamos por él al hablar de ella.

La piedra machacada, al máximo tamaño de 5 centímetros, es la que reune mejor estas condiciones, por más que no sea tan buena como la arena y los pequeños cantos rodados mezclados con ésta para reparar los defectos de nivelación, puesto que cuesta más de remover; pero, en cambio es más difícil que estos defectos aparezcan en aquella. Otro defecto de la piedra machacada es lo que dificulta el paso por la vía á los agentes de la misma que han de inspeccionarla, siendo causa de que estas inspecciones se hagan mal.



Se procurará, que no tenga mezcla de arcilla el balasto arenoso, y en lo posible, se preferirá el que tenga la arena silícea al que la tenga calcárea, y se preferirá la de grano grueso, porque se pulveriza con más dificultad. La piedra machacada, para ser buena, deberá reunir todas las condiciones, prescindiendo del tamaño y forma, de la buena piedra de construcción. En igualdad de circunstancias se preferirá la piedra de grano fino muy compacto, ó de extructura cristalina ó chonchoídea á la arenisca de grano grueso, que además de ser más floja, se machaca mal.

Para las vías económicas, no obstante, pocas veces será ventajoso el uso de la piedra machacada, por ser casi siempre mucho más cara que la arena ó la grava de río menuda, pudiéndose asegurar que cuando se tienen ambas á mano y en iguales condiciones de distancia de la vía y carga, la segunda no costará la tercera parte de la primera: ya porque es aquella más fácil de cargar y descargar, ya porque no exige el trabajo de machaqueo. El gasto que ocasiona el balastado es importante, por la mucha cantidad que se gasta de este material, pero no debe repararse en gastar algo más siempre que sea preciso, para conseguir que el balasto sea bueno. Por lo mismo que es la cimentación de la vía no se conseguirá que ésta sea buena si él no lo es.

En localidades industriales ó mineras, si no se tiene á mano los materiales que hemos dicho, podrá emplearse carbón de piedra que apenas tenga pirita, para que no se inflame expontáneamente, escorias, carbonilla, etc.

El balasto se extrae de los préstamos ó taludes de la vía, y este es el caso más ventajoso, ó bien de los cauces ó canteras más próximas. Se extiende por medio de carros volquetes la capa que ha de ir debajo de las traviesas, y luego de sentada la vía encima de ella puede aprovecharse ésta para distribuir el resto en vagonetas ó mejor, mucho mejor, en trenes que puedan cargarse en acopios hechos al lado de la vía ó en desvíos que entren en los mismos cáuces ó canteras de donde se ha de extraer.

El conjunto del balasto de una vía se denomina *caja de balasto* y tiene la forma adecuada al sistema de aquella. En el supuesto de tratarse de una sentada sobre traviesas, si es de ancho ordinario, las dimensiones mínimas que deberá tener serán: 40 cms. de altura, 50 centímetros de ancho la *banqueta* ó sea en la parte exte-



rior del carril y al nivel de éste en vía recta y 60 centímetros en curva, y una caída de 60 centímetros en sentido horizontal. Esta distinción de ancho entre recta y curva no se acostumbra hacer; pero, es ilógico que se dé igual apoyo lateral en ambos casos, siendo así, que las curvas, sobre todo las de pequeño radio, se deforman mucho más fácilmente que las rectas. No conviene bajar de las dimensiones que hemos fijado si se quiere una vía regular, debiéndose aumentar hasta 50 centímetros la altura y 70 y 80 centímetros el ancho de las banquetas y la caída de éstas en proporción de la misma á 75 centímetros, si la vía ha de soportar trenes pesados y velocidades de 40 kilómetros por hora. Para buenas vías económicas puede fijarse en 45 centímetros la altura y en 60 y 70 centímetros el ancho de las banquetas; pero, como la economía de esta reducción es poca, casi siempre, lo mejor será atenerse á las dimensiones ordinarias que quedan dichas y señaladas en la fig. 17 de la lám. III.

Para los ferro-carriles de vía de un metro podrán reducirse las dimensiones de la caja de balasto, y como se indica en la figura 18 de dicha lámina se les dará 32 centímetros de altura, 60 centímetros al ancho de las banquetas y 48 á la caída de las mismas.

La disposición que venimos explicando es la que se adopta en el sistema de vía Vignole llevando la parte superior de la banqueta hasta el nivel del carril con una ligera inclinación hacia afuera para que el agua que caiga en ellas escurra al exterior de la vía; y en el interior de ésta se pone el balasto necesario para cubrir las traviesas de la acción de la intemperie, y aún, para que, formando bombeo con su parte más alta á 2 ó 3 centímetros por debajo del nivel de los carriles, deje al descubierto toda la clavazón al objeto de poderla apretar si se afloja, á cuyo fin, tambien se tiene la precaución de poner en la parte interior de la vía las tuercas de los tornillos de brida. En la vía de carriles doble *T*, por ejemplo, hay que dejar más baja la banqueta donde corresponden los coginetes, cuando ménos, para poder apretar las cuñas.

En algunos ferro-carriles, con la mira de gastar ménos balasto, ponen la caja de éste embutida en el terreno, y hasta hay sistemas, que sientan cada carril en una caja distinta paralela al eje de la vía embutida en el terreno. Sin embargo, debemos



desechar estos procedimientos; porque, por muchos saneamientos que se hagan hacia las cunetas de la explanación, queda humedad en la vía á causa de la obstrucción frecuente de los mismos, sin contar con la mayor facilidad que hay de que la tierra contigua ensucie el balasto cada vez que se ha de reparar la vía. Al contrario de esto, ya dijimos, que convenia dar una pequeña inclinación á la explanación hacia las cunetas para que el agua que se reune en ella filtrando al través del balasto tenga fácil salida, y aún conviene, y nunca deberá dejarse de hacer, que cada dos ó tres carriles ó cada carril según los |casos y á cada lado de la vía si está en recta, ó solo en la parte interior si está en curva se abran desagües ó sangrías por debajo de los carriles en el espacio que media entre dos traviesas consecutivas y se procurará tenerlos siempre bien despejados.

Lo que hemos dicho no permite aún calcular exactamente el balasto que se necesitará para construir una vía, por varias razones. Si se trata de un desmonte que tenga mucha humedad, ó deberá sanearse con cunetas profundas laterales, que cuando el agua sea mucha convendrá revestir con muretes si la rasante tiene una inclinación menor de 5 milímetros por metro, ó convendrá aumentar el espesor de la capa de balasto de debajo de las traviesas. En los terraplenes ocurre á menudo que antes de dar por concluida la línea la vía vaya bajando por la depresión de las tierras de los mismos y entonces ha de irse levantando con balasto, lo que obliga á veces á que haya debajo de las traviesas una capa de más de un metro de espesor; por otra parte, el atacado de ellas comprime mucho el balasto y hace aumentar el volúmen del empleado como lo hace aumentar también el mayor desnivel que debe darse á la parte exterior de la vía, siempre que se halle en curva. Por todo lo cual, no solo debe contarse con el cubo resultante de las dimensiones generales de la caja de balasto, sin descontar el volúmen de las traviesas, sino, que si se juzga factible que ocurra alguno de los casos mencionados convendrá aumentar dicho cubo en un 5 p % próximamente, para no equivocar el presupuesto.

Hemos detallado las cualidades más ó ménos apreciables de las diversas clases de balasto en el supuesto de una vía sentada sobre madera; pero, si se trata de una vía metálica, ya la cosa varía un poco; pues, si bien todas las distintas clases citadas se



podrán emplear, será poco recomendable la piedra machacada y muy preferible á toda otra clase la arena mediana.

Traviesas.—En el supuesto de que se trata de una vía que las tiene, lo que debemos examinar es: de qué material se harán, qué número pondremos y qué dimensiones deberán tener.

Los materiales más á propósito para ellas son, el hierro y la madera. Sobre cuál de estos dos es más ventajoso, ha habido largas discusiones que damos por sabidas y que no repetiremos concretándonos á sintetizar la cuestión.

Unos opinan que la inmensa cantidad de traviesas que se necesitan para construir los ferro-carriles que faltan hacer y conservar los que ya existen no solo ha de destruir, en España sobre todo, muchos de sus bosques, harto escasos ya, sino que no han de quedar los suficientes para suministrar anualmente los dos ó tres millones que serán necesarios. Otros, prescindiendo de esto y del perjuicio que talas tan considerables pueden acarrear á la climatología del país, miran la cuestión bajo el punto de vista de la economía en la conservación de la vía; teniendo en cuenta la mayor duración de las traviesas de hierro sobre las de madera resulta más económico un exceso de gasto, cuando la instalación de la vía, y poner traviesas de hierro, que durarán muchos años, en lugar de ponerlas de madera que si bien costarán poco de compra deberán corregirse y renovarse con frecuencia. Y otros, en fin, les preocupa la manera de dar salida á los productos de las herrerías y vuelven los ojos con cariño á los considerables millones de traviesas que se consumen en el mundo para convertirlas en uno de los principales veneros de riqueza de la siderurgia, pretendiendo además, que el trasporte de estos materiales de las fábricas á los puntos de aplicación han de ser uno de los elementos que durante largo tiempo enriquecerán el trasporte de mercancías en los mismos ferro-carriles.

Todas estas opiniones pesan más ó ménos en favor de las traviesas de hierro ó acero; por más que esta última consideración de los transportes es algo atrevida, y como todas las del dominio de la economía política, no es para fallarse á primera vista; pues si no cabe duda que las compañías que por su proximidad á los grandes centros siderúrgicos saldrían muy favorecidas, no sucedería lo mismo con las otras, y resultarían muy perjudicadas las



más distantes, que por regla general son las más pobres; y aún todas, casi, este exceso de transporte las perjudicaría: sin contar, que esta nueva salida de productos de los altos hornos haría sostener el precio del hierro más elevado de lo conveniente para que la ventaja económica del empleo de traviesas metálicas subsistiese, y aún podría dar lugar á un acrecentamiento de instalaciones de aquella clase de aparatos, para subvenir á las necesidades de la primera época de renovación, que despues serían causa de nuevas crísis para aquella industria.

Nada puede proporcionar mejor una buena vía, cuando nueva, que la madera, y su empleo universal tan sostenido, bien claramente lo revela; pero, su renovación y conservación ha de ser tan asídua y tan cara, y el abandono de dicha conservación tan peligroso para los trenes, que no nos equivocaremos si aseguramos que el porvenir de las traviesas no puede ser la madera; tal vez sea algún material cuya existencia ó aplicación no columbramos todavía, pero, hoy por hoy, ninguno parece satisfacer mejor que el hierro y el acero. Y en efecto, hay miles de kilómetros colocados ya con traviesas de esta clase, sin que las compañías estén descontentas de su uso, por más, que todos los sistemas ideados no cumplen igualmente las condiciones de seguridad de la vía y facilidad de reparación como es de desear.

Toda traviesa debe poporcionar al carril: una base de sustentación para que no se hunda en el balasto; ha de conservar invariable la posición relativa de los carriles; ha de ofrecer el suficiente peso y resistencia al rozamiento con el balasto, para que la vía no se corra en ningún sentido; ha de permitir el fácil relevo de los carriles y ha de dar elasticidad á la vía. Tres son las especies de madera empleada generalmente que cumplen bien estas condiciones: el roble, el pino y la haya. El roble tiene ventajas incontestables sobre las otras dos, especialmente la duración; pero, es más caro de compra; no obstante, aún así, casi siempre sale más económico, por dicha mayor duración. No hay necesidad de inyectar esta clase de madera con sustancias antisépticas, como las otras, que sin esta inyección no duran más de tres á cuatro años, á no ser que se dé con un pino muy resinoso, que en este caso, y colocado en balasto excelente y explanaciones secas, puede durar hasta 16 años Pero esto, está fuera de lo co-



mún, no pudiéndose dar mayor duración de 5 á 6 años, por término medio, á las traviesas de pino y de haya, y de 10 á 12 á las de roble; de modo, que serán preferibles, éstas sobre las primeras, aunque cuesten doble; porque, cuando no otra cosa, se ahorrará la mano de obra que el relevo exigirá. Mucho más lo serán, hoy día, en España en donde hay poca diferencia entre el precio de unas y otras suponiendo inyectadas las primeras, y téngase presente que si la inyección está mal hecha, como es muy frecuente, la ventaja resulta mayor.

Los inventores, pues, han procurado que las traviesas metálicas reunieran las condiciones citadas, y si no lo han conseguido por completo, son bastante satisfactorios algunos de los sistemas ideados; de tal manera, que: *para los ferro-carriles económicos, á no ser que se establezcan en comarcas donde la madera sea muy abundante, no titubearemos en optar decididamente por las traviesas metálicas.*

¿Y por cuál sistema hay que decidirse? se nos dirá. Antes de contestar categóricamente, permítasenos añadir algunas palabras más.

No comprendemos entre las vías de traviesas metálicas las que están constituidas por dos platos de asiento unidos entre sí por tirantes transversales que sirven para mantener invariable el ancho de la vía sino aquellas que á manera de las traviesas de madera tienen una sección próximamente igual en toda su longitud y en toda ella también apoyan sobre el balasto, constituyendo la base de asiento de la vía. Los sistemas que se fundan en este principio son varios, distinguiéndose principalmente los de Mr. Desbrière, de Vautherin ó de las Forjas de Fraisans, de Mr. Le Cremiêr, de Mr. Zorès, el Nierlandés, etc., en todos los cuales se emplea por traviesa un hierro laminado de sección en *U*, invertido, más ó ménos abierto, que unas veces lleva encima, para cada carril, una placa de asiento ó un cojinete como en los dos primeros, placa que á veces es de madera, para dar mayor elasticidad á la vía, como en el de Desbrière y otras veces se consigue el objeto principal de dicho suplemento, que no es otro que procurar al carril la inclinación debida con respecto á la vertical, por una dobladura que se dá á la traviesa misma, como se ha hecho últimamente con el sistema Vautherin, ya mencionado, y otros.



La unión de la traviesa con el carril si se trata de carriles doble *T*, se hace por el mismo procedimiento inherente á este sistema, esto es, por cojinetes de fundición atornillados á la traviesa y luego con cuñas de madera se sujeta el carril al coginete; pero si se trata de carriles Vignole, unas veces se emplean unas planchuelas terminadas en un diente que coje el carril por el pié á la manera que lo hacen las escarpias, las que se sujetan por su parte inferior con dos remaches ó tornillos á las caras laterales de la traviesa poniendo una á cada lado de la misma, tal sucede en el sistema Desbière; otras veces la sujeción se hace con tornillos que colocados uno á cada lado del pié del carril aprietan una pata cada uno que corresponden una enfrente de otra y cruzando por encima de dicho pié ván á apretar la parte inferior del nervio del carril en un mismo punto y por opuesto lado, así sucede en el sistema de Mr. Le Cremier; y otros, como el sistema Vautherin antiguo, sujetan el carril por la parte exterior de la vía con una grapa que coje por uno de sus extremos la traviesa, introduciéndose en un agujero y por el otro coje el patin del carril y por la parte interior, con una cuña doble que se introduce en un agujero de la traviesa, una de cuyas partes móviles coje á ésta y al patin, mientras la otra, de forma de una escarpia con la punta de la cabeza vuelta hacia el centro de la vía se introduce á golpes por el mismo agujero, resbalando por detrás de la primera parte; ó tambien, como en el sistema moderno de dicho inventor, se sustituyen estas cuñas de la parte interior de la vía con un resorte que se introduce y se quita con el auxilio de una palanca que apoya agarrando á un agujero abierto en la misma traviesa.

En el sistema Desbrière la traviesa tiene las ramas de la *U* verticales; sin embargo, el cojinete forma una traviesa elástica por el intermedio de la cuña de madera entre ella y el carril; pero en los demás sistemas la forma abierta divergente de la sección, dá de por sí, mayor elasticidad sin el uso de los platos de madera y permite un cojinete más sencillo, y tan suave que no se nota, yendo en el tren, el pasar de la vía de madera, á la metálica ó al revés.

Debe procurarse que en el punto donde se sienta el carril tengan las traviesas metálicas mayor espesor, (8 ó 9 milímetros) á fin de que no se deformen por el peso de la vía y esto se consi-



gue hoy día con los actuales procedimientos de laminado; se ha de evitar también, que la clavazón se afloje, á cuyo fin prestan muy buenos servicios los tornillos con ovalillos de acero, de hélice, cuya elasticidad tiene siempre sujeta la tuerca, y la traviesa, que sobre ser de alas divergentes puesta boca abajo tenga sus extremos terminados en dos caras, construidas con estampas ó con simples piezas de ángulo colocadas trasversalmente con roblones para impedir que la grava se escape por dichos extremos y que la vía se corra lateralmente.

Todas estas condiciones reune el sistema Vautherin más moderno, y puede adoptarse en la seguridad de obtener buén éxito procurando, empero, que los muelles estén situados al interior de la vía, porque en el exterior cederían en las curvas al paso de los trenes y el Le Cremièr con ovalillos de resorte y grapas que permiten variar el ancho de la vía. En todos casos, se procurará que la traviesa pese por lo ménos 40 kilos si es de vía ancha y los extremos de la *U* de ella estén tapados trasversalmente como se ha dicho. Las Vautherin sencillas pesan 36 kilos, las de junta pesan 43 kilos ó lo mismo que las primeras, supuestas ambas para la vía española; las de Le Cremièr fabricadas por Bochum pesan 65 kilos; y las de Webb, empleadas en el ferro-carril de North-Western, que son análogas á las de Vautherin en cuanto á la forma de su sección, con cojinetes de fundición para carriles doble *T* ó cuñas de roble como las de Desbrière pesan 80 kilos.

Con respecto á sus dimensiones y al número de las que se han de emplear téngase en cuenta que no conviene que el balasto por la sola acción de un par de ruedas sufra mayor presión de 2 kilógramos por centímetro cuadrado, si se trata de traviesas de roble ó metálicas y 1,95 kilógs. con traviesas de pino, y en el espacio comprendido por una locomotora no deberá exceder de 0,75 kilógs. por centímetro cuadrado.

Estos datos bastarán para determinar el área ó base de asiento sobre las traviesas, y dada su longitud, que para la vía ordinaria podrá ser de 2,80 ms. y para la vía de un metro de 1,70 ms., y su ancho de $0^m,24$, supongamos, en la primera, y $0^m,17$ en la segunda, se deducirá el número de traviesas convenientes que podrá modificar en cerca de una unidad por cada par de carriles la distribución que se adopte.

Esto con referencia á la presión de las traviesas sobre el balas-

to, que en cuanto á la que ellas sufran por la acción de los carriles es muchísimo mayor; siendo ésta y el carril lo que no permite ir más allá con la primera ya que ni por la traviesa ni por el balasto hubiese inconveniente en aumentarla. La ejercida directamente por el carril es relativamente demasiado grande en todos los casos y por esta razón cuando sean de madera conviene colocar planchas de asiento entre uno y otras.

Pero, todos estos principios son los mismos que se aplican en los ferro-carriles ordinarios y es inútil, no siendo tampoco este nuestro propósito, extendernos demasiado en aquello que no entre de lleno y casi exclusivamente en los ferro-carriles económicos. Basta decir que todas las consideraciones aplicables á aquellos se pueden extender á éstos teniendo en cuenta el peso del material móvil, la resistencia adoptada para el carril según la separación de dos traviesas consecutivas y la proporcionalidad que entre una y otra clase de ferro-carriles debe existir en todas sus partes y en todos sus elementos.

Para concluir, únicamente diremos que no conviene dar á las traviesas un ancho mayor de $0^{m},23$ tratándose de ferro carriles económicos, porque es mucho más difícil encontrar árboles que dén una mayor dimensión en ciertas comarcas de España y sobre todo en Cataluña, que el espesor podrá variar hasta el máximo de 14 centímetros y que la separación máxima también, entre dos traviesas consecutivas, no deberá ser mayor de un metro de centro á centro, siendo ésta y la de $0^{m},90$ muy á propósito para los ferro-carriles de amplitud ordinaria. Sin embargo, las traviesas contiguas á las juntas, llamadas de *contra junta*, se dejarán á los $\frac{2}{3}$ de la separación de las restantes y aún á algo ménos si se trata de juntas al aire.

Otras clases de apoyos.—Se han ideado muchos sistemas de vía fundados en apoyar los carriles sobre platos más ó ménos grandes, apareados y unidos entre sí por medio de tirantes que garanticen la invariabilidad del ancho de la vía. Dichos platos pueden ser: dados de piedra, pueden ser casquetes esféricos de fundición como los Mr. Greave, que fueron aplicados al construir la línea de Barcelona á Mataró, entre otras partes, y más tarde han sido levantados; pueden ser de plancha ondulada como los



de Mr. Wilson; de madera unida con tirantes de hierro como los de Mr. Bergeron; de hormigón de asfalto, como los de Mr. Stierlin; etc., etc.

Sin embargo, de tantos sistemas y de las muchas tentativas de aplicación, en ninguna parte han arraigado, por lo que creemos no se ha de recomendar ninguno de estos sistemas.

También se colocan los carriles, algunas veces, apoyando sobre largueros, y este principio ha dado lugar á otra multitud de sistemas de vía. La primera aplicación se hizo empleando largueros planos de madera ó de hierro ligeramente curvados y el carril Brunel que tuvo extensa aplicación en varios puntos, en España mismo; se sentaba el carril sobre ellos empalmando los carriles con una plancha especial que con los extremos de aquellos se fijaban en dichos largueros por medio de tirafondos.

El larguero Hilf que se aplicó en Alemania en combinación con carriles Vignole sin patín no fué otra cosa que una modificación del carril Barlow. Éste se ideó con la mira de que sus alas mismas sirvieran de larguero; y á su semejanza también, se ideó el sistema Hartwich, á nuestro modo de ver mucho ménos racional, pues mientras aquel se coloca sobre el balasto en las condiciones ordinarias y reune á la elasticidad de este material la elasticidad y la estabilidad propias de la forma de las alas de asiento del carril, el segundo no cuenta más que con el primer elemento de elasticidad, y aún en obsequio á la economía establece el inventor, cada carril en una caja diferente paralela al eje de la vía, llena de balasto que por causa del agua que en ellas se reune ha de ser funesto á la duración de la vía; bién, que este detalle no es esencial del sistema. El carril Loubat, empleado para las tranvías se sienta también sobre largueros y en general toda clase de carril hay que sentarlo así, siempre que haya de instalarse en una vía engravada ó adoquinada. Pero, excepción hecha de estos casos, nunca recomendaríamos el uso de largueros de ninguna clase.

Carriles.—Uno de los asuntos que se ha de examinar con mayor interés es la elección del tipo de rail que se deba adoptar. Con respecto al sistema, solo son dos los que son dignos de fijar la atención: el Vignole y el doble T, y aún este último, ha sido



desechado casi en todas partes, excepto en Inglaterra que lo conserva en aquellas líneas de tráfico extraordinario, porque es el sistema que permite el cambio de carriles con mayor celeridad, condición apreciable en ellas en las cuales es tan frecuente el paso de los trenes. Fuera de esta ventaja, ninguna más ya abona al sistema doble T; de aquí, que para toda clase de ferro-carriles y especialmente para los de poco tráfico, ninguno ofrece más ventajas que el Vignole.

Pero, dentro del mismo sistema, la sección puede tener formas muy distintas, y la experiencia ha enseñado que conviene, que la cabeza sea alta y que las bridas sean largas, rígidas, bastante convexas y apoyen con seguridad en la cabeza y en el pié del carril. La mayor altura de la cabeza es una precaución necesaria contra el desgaste de la misma y la rigidez y buén apoyo de las bridas una garantía de solidaridad mútua de los carriles; lo cual juntamente con la adopción de las juntas al aire, evita el martilleo de las ruedas, con ventaja para el movimiento de los trenes y para la duración del material fijo y móvil. La figura 1 lámina IV es un buen tipo para ferro-carriles ordinarios y pesa 32 kilógramos por metro lineal.

Para ferro-carriles de poco tráfico, este es demasiado peso, si se quiere; sin embargo, no conviene bajar de 30 kilógramos por metro en los de vía ancha, pues de lo contrario, se tiene la imposibilidad de admitir en ellos las locomotoras ordinarias de mercancías que por la tendencia siempre creciente de los constructores, en aumentar el peso de las máquinas, más bién hace recomendable un peso de 32 kilógramos que de 30. Por otra parte, en los ferro-carriles que nos ocupan, hay que adoptar muchas veces rampas fuertes y las locomotoras necesarias para remontarlas resultan pesadas exigiendo esta circunstancia una sección proporcionada y en relación al espacio que media entre las traviesas. Fijado este peso por eje, para determinar la sección del carril, se traza el perfil de éste á escala doble del natural y ya sea por medio de la fórmula de Simpsón, ó mejor aún con el auxilio de uno de los modernos planímetros se determina el área de dicha sección y el centro de gravedad de la misma, y se deduce el momento de inercia y el momento de resistencia de que es capaz para una distancia de traviesas dada. Luégo se varía la sección ó esta última distancia hasta conseguir la resistencia

permanente atribuida al material de quese haga uso, y que para el hierro y el acero fijamos ya en 6 y 10 kilógramos por milímetro cuadrado respectivamente, al ocuparnos de la resistencia de los puentes en el art. IV del presente capítulo.

Hay que tener presente en estos cálculos la observación hecha ántes, sobre la tendencia actual de aumentar la carga por eje; carga que si hasta há poco no traspasó de 13 toneladas se quiere hacer llegar ya á 15 ó siete y media por carril.

También debe precaverse la posibilidad de espaciar las traviesas más de lo debido, por descuido del personal de las brigadas, que no siempre tienen bastante cuidado en colocarlas en su debido sitio, si por cualquier motivo se han corrido; de manera que será bueno suponer como luz de la parte libre de los carriles no el espacio que media entre una y otra traviesa, sino la distancia comprendida entre los centros de las mismas. Y en fin, el desgaste de los carriles reduce al cabo de cierto tiempo la resistencia del carril y dicho se está que si se hace el cálculo para la sección completa, desde el momento que principia el desgaste principia á disminuir la seguridad de la vía, por cuya razón, lo lógico es, que se cuente únicamente con el momento de inercia correspondiente al límite de desgaste que se quiera admitir y que es de 8 á 10 milímetros por lo general, y dar luego á la cabeza de la sección este aumento de altura. Como es natural, esto conducirá á secciones fuertes, de tal manera que resulte para el acero una resistencia de 5,50 kilógramos por milímetro cuadrado, tan solo, como sucede con carriles de 32 kg. que hemos visto aplicados en líneas importantes, cuyo valor de $\frac{I}{V'}$ es 0,000134029, cuya separación entre los centros de traviesas es de un metro, y doce toneladas la carga por eje. Siendo todos estos argumentos en favor de nuestra opinión de adoptar carriles resistentes. Por supuesto, que no debe considerarse el espacio comprendido entre dos traviesas como un simple sólido apoyado por sus dos extremos, sujeto á una carga movible de un extremo á otro de su longitud, sino que ha de asimilarse más bién á un tramo de una viga contínua de varios tramos; ó si se quiere, para simplificar el problema, á una viga empotrada por sus dos extremos; resultando de aquí, que el trabajo de 5'5 kilógramos por milímetro, á que como ejemplo hemos dicho estaba sujeto el ca-



rril de acero de 32 kilógramos citado, se reduce á la mitad mientras está perfecta la clavazón.

Para los carriles de un metro de ancho, 20 kgs. es un peso por metro lineal fuerte y muy recomendable, no debiéndose adoptar pesos de 12 y 14 kgs. como hacen algunos no tratándose de ferro-carriles provisionales ó destinados al paso de vehículos muy pequeños, arrastrados por fuerza animal.

Hay dimensiones que la práctica ha sancionado ya y no se debe apartar mucho de ellas sea por las necesidades del trabajo, sea también por la relación que ha de existir entre las mismas y el material móvil. Tales son: el ancho de la cabeza, que será de 50 á 60 milímetros para los ferro-carriles de ancho ordinario y de 35 á 45 $^{m}/_{m}$ para los de 1 metro de anchura; el ancho del patín ó pié del carril que será de 95 á 105 $^{m}/_{m}$ en los primeros y de 65 á 75 en los segundos y la altura de 110 $^{m}/_{m}$ á 140 en aquellos y de 70 á 85 en estos; análogamente se guardará la proporcionalidad con el peso exigido por la forma lógica del perfil.

Esta forma (fig. 1) se distingue de la forma antigua en la tendencia de aumentar la altura de la cabeza para hacer frente al desgaste, según ya dijimos en disminuir el espesor del nervio vertical para no aumentar el peso, ya que gran parte de la materia se concentra en la cabeza; además, de que ni por su forma, ni por su posición, es aquel el punto donde más resistencia, puede ofrecer la materia; y en la franca determinación de los planos de embridamiento como se manifiesta en el dibujo permitan como antes dijimos también, una sólida sujeción de las bridas.

El bombeo de la cabeza no tiene que preocupar mucho, porque es muy transitorio, toda vez que el roce de las llantas pronto lo modifica. No obstante, si atendiéramos solo á este roce y prescindiéramos de las ventajas que ofrece un perfil simétrico, sobre todo por no tener que destinar cada carril á un lado determinado de la vía, debería hacerse más robusta la parte de cabeza que ha de mirar al interior, y su cara superior la haríamos inclinada, resultando de aquí más estrecha la brida de la parte interior de la vía.

Pero, esta forma por lógica que sea no se emplea, sin duda, por los inconvenientes de la falta de simetría á que hemos aludido.



Sabido es, que para aumentar la rigidez proporcionada por las bridas, en estos últimos tiempos, se ha acudido á varios expedientes tales como: el hacerlas de sección de ángulo y de otras secciones más ó ménos raras, y el aumentar su longitud de 40 centímetros que tienen ordinariamente, para la vía ordinaria, hasta 60 centímetros. También se ha aumentado, algunas veces, el número de tornillos de brida poniendo seis en vez de cuatro, y hasta cinco en cuyo último caso corresponde uno en el centro de la brida ó en el extremo mismo de los carriles á cuyo fin llevan medio agujero cada uno de estos, dando un resultado muy satisfactorio. En las fuertes pendientes, pueden aprovecharse las bridas de ángulo para evitar que la vía pueda correrse con mayor eficacia que la proporcionada por las muescas hechas en el patín de los carriles y consiste en hacer dos fuertes entalladuras una á cada extremo del nervio horizontal de la brida de ángulo en las cuales se introduce la cabeza de una escarpia más recia que las demás.

Ya que hemos mencionado las escarpias, no queremos dejar de decir algunas palabras respecto de su uso y de la lucha que tiempo há sostienen con los tirafondos. Estos, de empleo más moderno, suplantaron por completo á las primeras y casi era unánime la opinión favorable hacia ellas por la mayor solidez de la vía, habiendo reconocido bién pronto esta superioridad los mismos obreros de la vía, no obstante costarles mayor trabajo su empleo.

Mas, después, estas corrientes han variado algo y no son tan unánimes las opiniones sobre la mencionada superioridad, cosa que no acertamos á explicarnos, porque si es evidente que los tirafondos cuestan más de colocar y esto es un inconveniente, poco importante por supuesto, para reparar la vía en caso de un accidente, en cambio nos hemos bién convencido prácticamente, que es más fácil tener apretados los tirafondos que las escarpias, y los carriles resisten más á la acción destructora de los descarrilamientos.

Atendida la escasa diferencia de precio que existe entre el acero y el hierro, hoy día ya no se fabrican apenas carriles de hierro, y no podemos dejar de declararnos decididos partidarios de los de acero cuya duración es muchísimo mayor.

No son tan duraderos, no obstante, como se pretendía al prin-



cipio de su fabricacion, pudiéndose apreciar en la actualidad su duración verdadera.

Por el interés que pueda tener para nuestros lectores vamos á dar algunos de los muchos datos que en nuestra, ya algo larga carrera, hemos podido reunir.

Para su más fácil examen y comparación agrupamos en un solo cuadro las ocho muestras que hemos escojido de cada uno de los tipos de 30 y 32 kgs. por metro lineal, según se vé á continuación:

Tipo de acero de 30 kilógramos.

NUMERO.	TOTAL en m. m	TOTAL en años	POR AÑO m. m.	Toneladas que han circulado por año.	Pendiente por metro.	ALINEACION	Toneladas resistidas por milímetro desgastado.
				millones.	cénts.		
1	2'75	9	0'3055	1'153	1'13	R.=400	3'119
2	4'00	9	0'4444	1'153	0'83	» =400	2'595
3	2'50	10	0'2500	1'153	0'75	» =300	6'120
4	2'00	10	0'2000	1'153	0'76	» =500	7'650
5	4'50	11	0'4090	1'690	Hor.al	Recta	4'132
6	7'50	14	0'5357	1'690	1'43	id.	3'155
7	6'50	14	0'4643	1'690	1'43	id.	3'639
8	14'50	14	1'0357	1'690	1'43	id.	1'631
Promedio			0'3727				4'344

Tipo de acero de 32 kilógramos.

NUMERO.	TOTAL en m m.	TOTAL en años.	POR AÑO m. m.	Toneladas que han circulado por año.	Pendiente por metro.	ALINEACION	Toneladas resistidas por milímetro desgstado
				millones.	Cénts.		millones.
9	1'00	8	0'1250	1'153	1'94	Recta	9'225
10	5'00	8	0'6250	1'153	1'93	R.=500	1'845
11	3'00	8	0'3750	1'153	0'64	» =350	3'072
12	4'00	8	0'5000	1'153	1'71	» =500	1'130
13	5'00	8	0'6250	1'153	1'93	» =500	1'845
14	2'00	6	0'3333	1'153	1'87	» =600	3'159
15	1'50	5 1/2	0'2727	1'153	1'87	» =600	4'228
16	2'00	4	0'5000	1'690	0'32	» =400	3'380
				0'4195			2'694

Debemos exceptuar del cuadro, la muestra número 8 de 30 kilógramos por hallarse en caso excepcional; puesto que se sacó de un túnel de más de 600 metros de longitud en el cual había muchas filtraciones, que fueron la causa principal de su destrucción por el óxido que se formaba y saltaba en *películas,* pues sin más saneamiento que las cunetas laterales, muy poco profundas, y sentada la vía en muy mal balasto, bastaron 14 años de uso para que tomara la forma representada con líneas de puntos por el *fácsimile a,* de la fig. 2, y tuviera que relevarse por inútil la parte comprendida por el túnel mientras, que el resto del kilómetro solo se había desgastado lo que representa la línea *b* y el ejemplo núm. 6 del cuadro. Esto, demuestra cuán funesta es la humedad, y la necesidad de sanear bién la vía y de tenerla bién balastada.

También hay que exceptuar el caso núm. 9 que por efecto de una dureza especial de aquel carril se desgastó muy poco.

El promedio de desgaste corresponde á razón de un milímetro por 4.344,000 toneladas de circulación en el carril más pequeño y 2.694,000 tan solo en el mayor.

A esta notable diferencia debe de haber contribuido mucho la diferencia de pendientes, pués sabido es, que bajando de más de uno y medio por ciento descienden los vehículos con los frenos apretados y arrastrando las llantas por los carriles. Pero, que esta no es la única causa, se deduce fácilmente del examen del cuadro en el que se vé; por ejemplo, el caso de la muestra número 11 que corresponde á una pequeña pendiente de 0,64 por ciento, y la 16 á otra todavía más pequeña, de 0,32 y el número de toneladas resistidas por ambos es más pequeña que el resistido por la muestra núm. 7, con todo y haber estado colocado en una rampa muchísimo mayor. Luego, aquí ha de haber otra causa que es uno de los factores más importantes: la naturaleza propia de los carriles. Ambos tipos corresponden á carriles de los llamados duros; pero el de 32 kgs. era de acero á todas luces más blando que el de 30 y á esta mayor dureza debe, *con seguridad,* gran parte de su mayor duración. Ya se recordará que al hablar del material de los puentes no nos entusiasmamos mucho con las teorías de algunos constructores modernos, que pretenden son mejores los aceros blandos que los duros para su duración, y esto que no se trataba como ahora de piezas sujetas á ro·

zamientos contínuos. Sin embargo, ha de haber un límite para que no sea demasiado frágil el metal ocasionando excesivas roturas por desigualdad en el apoyo ó por cambios bruscos de temperatura, límite, que entonces fijamos ya; pero, que está lejos de lo pretendido por los encomiadores del acero blando.

Se deduce también, que en un camino de hierro, como el que nos ocupa, los carriles de la clase del de 32 kilos pierde un milímetro de altura de la cabeza cada 2,38 años por término medio, luego si ponemos el caso de un carril que pueda perder 10 milímetros de su altura hasta llegar á comprometer la seguridad de la vía, este carril tendrá, suponiéndole igual calidad que el acero del tipo de 32 kgs, 24 años próximamente de duración.

Para concluir con los carriles, réstanos tan solo fijar la longitud más conveniente. Cuanto más largos sean, mejor se perfilan las curvas, más suave es el movimiento de los trenes por la supresión de mayor número de juntas en cada una de las cuales se experimenta siempre un pequeño golpe por la solución de continuidad que presenta, y hay mayor economía de bridas y tornillos. Pero, esta longitud está limitada por el peso de los carriles que no conviene sea excesivo porque no podrían manejarlos las brigadas, por la facilidad de que se deforme un carril largo, y por la pérdida que supone el cambio de todo un carril por un defecto que se presente en uno de sus puntos.

Esta última limitación tiene poca importancia; porque cuando llegue el caso se podrá partir el carril en dos mitades sin que esto altere la vía más que en aumentar el número de juntas y la primera puede disminuirse haciendo que en el manejo de los carriles lo hagan dos cuadrillas reunidas ó bién aumentando el personal de las brigadas al número de hombres que sean necesarios, alargando al mismo tiempo la longitud del trozo que esté á su cargo para que resulte compensado el gasto.

Así, á los carriles de 30 kgs., no habrá inconveniente en darles 10 mts. de longitud, haciendo las brigadas de siete hombres que podrán tener á su cargo 12 kilómetros, por ejemplo; y si la vía está en buén estado, que exija muy poco cambio de carriles, manejándolos apoyando un extremo en el suelo hasta ponerlo en la vagoneta para que solo deban resistir la mitad de su peso, bastaría para manejar carriles de 300 kilos, 4 hombres que no deberán hacer más que un esfuerzo de 37,50 kgs. cada uno.



Si se tratara de carriles pequeños, se les podrá dar sin más inconveniente que los que puedan resultar del trasporte 14 y 15 metros de longitud. Longitudes mayores no serían posibles ya por las torceduras á que darían lugar su manejo y trasporte.

Asiento de la vía.—Al colocar una vía, sea de la clase que quiera, hay que tener en cuenta tres detalles de suma importancia que son: la inclinación de los carriles con respecto á la vertical; la holgura en el ancho de la vía y la sobre elevación del carril exterior en las curvas. La importancia de estos detalles sobre todo la de los dos últimos depende principalmente de la velocidad de los trenes, de las condiciones del material móvil y del trazado de la línea, por cuya razón nos vemos obligados á decir algo de este asunto, por más que pertenezca al dominio general de los ferro-carriles.

Es universalmente admitida la inclinación de $\frac{1}{20}$ para los carriles; es decir, que el eje de la sección de estos se incline hacia el interior de la vía de un centímetro por 20 centímetros de altura. El objeto de esta inclinación es resistir más á la acción de las llantas de las ruedas que por ser cónicas empujan oblícuamente á los carriles. Esta conicidad es necesaria en primer lugar para disminuir, ya que no cortar del todo, el resbalamiento de las ruedas de las cuales las exteriores se ven obligadas á andar mayor longitud que las interiores, resultando de aquí un resbalamiento hacia adelante en los primeros y hacia atrás en los segundos. La conicidad combinada con la fuerza centrífuga que tiende á que el tren escape por la tangente, y á que las pestañas de las ruedas de la parte exterior se acerquen al carril mientras se separan las interiores del correspondiente á ellas, hace que así como éstas ruedan por una circunferencia menor que la media, aquellas lo hagan por otra mayor que ella.

La práctica ha sancionado ya una conicidad y una inclinación como buenas; teóricamente, la segunda debería ser exactamente igual á la primera pero no se hace así, sino que se dá por lo regular una conicidad de $\frac{1}{16}$ no siendo más que de $\frac{1}{20}$ la inclinación según se ha dicho, para sacar todo el partido posible de



las ventajas de la primera sin que el carril tome una posición demasiado difícil de sostener con la clavazón de la vía.

Pues bién, sea cual fuere la importancia del ferro-carril, deberán colocarse los railes en la citada inclinación cajeando al efecto las traviesas con la mayor escrupulosidad, y en curvas de muy pequeño radio, para asegurar la posición del carril, se reforzará la clavazón sobre todo la del carril exterior, sea con mayor número de planchas de asiento, sea con doble escarpia ó doble tirafondo en la parte interior del carril exterior.

En las rectas, el ancho de la vía es el normal entre carriles y deberá procurarse sea exacto no tolerando defecto de más de 5 milímetros, ni por defecto ni por exceso. En líneas cuyo material móvil sea pesado, como en la generalidad de las ordinarias, esta amplitud, en las rectas, tiende á disminuir por causa de la inclinación del carril arrastrado por la llanta de las ruedas cuyo peso se descompone en dos fuerzas, una normal á la inclinación de la llanta y otra en el sentido de ésta que forman ángulos que llamaremos β y α respectivamente, con la vertical cuyos valores para una conicidad de $\frac{1}{16}$ son, siendo P el peso que carga en una rueda:

$$P. \cos. \beta = 0'1579\, P \quad \text{y} \quad P. \cos. \alpha = 0'9875\, \alpha \quad (*)$$

y claro está que la segunda componente, ó sea la que tiende á volcar el carril, sería más pequeña si la conicidad fuera igual á la inclinación del carril; pues entonces α sería un ángulo de 11.°19′ y su coseno valdría 0,9805.

Esta tendencia á aumentar la inclinación del carril es la que limita la del primer establecimiento.

En los ferro-carriles de vía estrecha y de material más ligero puede aumentarse dicha inclinación y proporcionalmente la conicidad, si el trazado tiene curvas de pequeños radios con lo cual se disminuirá algo la resistencia de los trenes al paso de los mismos. Así, creemos que bajo este punto de vista no ha de haber inconveniente, en estos casos, en dar una inclinación de $\frac{1}{18}$ y una conicidad de $\frac{1}{14}$; si bien no lo aconsejaríamos en la de

(*) α es un ángulo cuya tangente trigonométrica es 0'16 y tiene por lo mismo un valor de 9°5′.



vía ordinaria para no separarnos en lo posible de las condiciones normales de esta clase de vías, por las razones que hemos expuesto en otras partes.

Entre las pestañas de las ruedas y los carriles debe existir un cierto juego, aún en las rectas, para que las ruedas se deslicen más fácilmente á pesar de los pequeños defectos de ancho de la vía, y á este propio fin, se redondean las cabezas de los carriles y las citadas pestañas. Dicho juego es próximamente de $\frac{1}{59}$ del ancho de la vía entre carriles para la recta, de modo que corresponden 24 milímetros para la vía de 1,44; 28 $^{m}/_{m}$ para la vía normal española y 17 $^{m}/_{m}$ para la vía de un metro.

El ancho de la vía debe aumentar en las curvas, para que sea mayor el juego, ya que la rigidez del material móvil tiende á ensancharlas, tanto más cuanto más pequeños sean los radios de aquellas. La cantidad necesaria para tener una vía estable depende de la distancia entre las ruedas de ejes paralelos de un mismo vehículo, de la movilidad de dichos ejes cuando tienen algún movimiento giratorio, del diámetro de las ruedas y de la anchura de las llantas.

Teóricamente, en las curvas, el aumento de ancho debe permitir igual juego entre el carril y las ruedas que el existente en las rectas. Este juego se determina gráficamente por un dibujo hecho á una escala bastante grande que permita apreciar todos los detalles; pero hemos de confesar, que después que ya damos un juego de $\frac{1}{59}$ á la vía recta creemos muy poco necesario en la práctica un aumento mayor, como no sea de un par de milímetros en el supuesto de que sea material de ancho normal de no más de tres metros y medio de separación entre los ejes con locomotoras de juego lateral y no habiendo curvas de ménos de 400 metros de radio.

Este escaso aumento se obtiene con solo dejar ligeramente holgada la plantilla de colocación de vía, mientras que toda otra regla complica extraordinariamente el asiento y la conservación de la vía.

En las curvas de radio menor, convendrá aumentar el juego llevándose á 8 $^{m}/_{m}$ para las curvas de 300 mts., á 10 para las de 250, y á 12 para las de 200 mts; huyendo de la costumbre que tie-



nen algunos ingenieros de llevar estos números respectivamente á 18, 20 y 22 milímetros, porque á esta excesiva holgura son debidos muchos descarrilamientos.

Pasemos ahora á ocuparnos de la *sobre elevación* en las curvas.

Aúnque las pestañas de las ruedas contengan el tren entre los carriles, y aúnque la conicidad obre el mismo efecto, no pueden ponerse éstos á un mismo nivel porque aún marchando á pequeñas velocidades no contendrían los trenes. El poner más alto el carril exterior crea una resistencia contra la fuerza centrífuga; esto es, crea una fuerza centrípeta que los contiene sin forzar mucho el carril por la presión lateral de las pestañas.

La determinación teórica de esta resistencia se hace hallando la fuerza centrífuga que desarrolla un móvil en las condiciones de movimiento de los trenes y buscando el ángulo del plano inclinado capaz de ofrecer una resistencia á su ascensión igual á dicha fuerza centrífuga, dando lugar á la expresión $S = \frac{e\ V^2}{g\ R}$ en la cual: s es la *sobre elevación*; V, la velocidad de los trenes por segundo en metros, g la intensidad de la gravedad y R el radio de la curva considerada.

Pero, la práctica ha enseñado que en muchos casos el desnivel resultante de esta fórmula no era suficiente, como lo demuestran los fuertes rechinamientos de las pestañas; así es, que se ha aumentado, con el uso de la $S = \frac{V}{R}$, al mismo tiempo que se simplificaba el cálculo. En ésta, V es la velocidad del tren en kilómetros por hora, R el rádio de la curva en metros, y S el desnivel en metros también.

Sin embargo, por propia experiencia podemos asegurar que esta fórmula, en ciertos casos, dá desniveles demasiado grandes, si se toma por velocidad, no ya las mayores velocidades á que muchas veces corren los trenes sobre todo en las pendientes, sino tan sólo las más comunes en ella: 50 y 60 kilómetros por hora. Lo hemos comprobado en una línea de trenes pesados y rampas fuertes que llegaban al 2 por 100 y se ha visto que los trenes de mercancías ascendentes por marchar á pequeñas velocidades hunden el carril interior de las curvas haciendo aumentar notablemente la sobre elevación de las mismas.

De aquí, que en lugar de emplear el valor de la velocidad ma-



yor verdadera (*) de los trenes, conviene afectar á ésta de un coeficiente que la disminuya de una á dos décimas, Así:

$$(2) \qquad S = 0{,}9 \frac{V}{R}$$

Si no tuviéramos en cuenta los efectos peligrosos de los trenes descendentes, todavía emplearíamos un coeficiente práctico menor y así puede hacerse, tal como 0, 8, por ejemplo, en las líneas de débiles pendientes; pero en las de pendientes fuertes no, porque si el excesivo desnivel hace que por la acción de los trenes lentos y pesados aumente éste, resultando luego en peor situación y agravándose más y más el defecto, tambíen, los de la misma clase que no marchen á mucha velocidad suben con demasiada sencillez la sobre elevación, vuelven el carril exterior hacia fuera y se llevan el interior hacia dentro.

Para que resultara un desnivel análogo al que da la fórmula racional primitiva $S = \frac{e V^2}{g R}$, sería preciso tomar por coeficiente 0,50 próximamente. Este sería demasiado pequeño, según hemos visto, y entre él y la unidad debe hallarse el verdadero, que el acertado criterio de un ingeniero práctico puede solo determinar en cada caso.

En cuanto á las vías estrechas, debe modificarse la fórmula, porque no entra en ella como entraba en la primitiva el ancho de la vía y claro está que cuanto más estrecha sea ménos deberá ser su sobre elevación, aparte, el tener en buena cuenta la velocidad que corresponda á la línea, y como dicho desnivel por referirse á la inclinación de un plano inclinado será proporcional á la base de éste se podrá tener la expresión:

$$S = \frac{0{,}9\, a\, V}{1{,}672\, R} \quad \text{ó mejor} \quad S = \frac{0{,}8\, a\, V}{1{,}672\, R}$$

que es igual á

$$S = 0{,}478 \frac{a\, V}{R},$$

(*) Designemos asi; no la velocidad máxima marcada en los itinerarios, ni la mayor á que alguna que otra vez marchan los trenes cuando los descuidan sus agentes, sino la más grande de las velocidades que con *mucha frecuencia* toman los trenes al bajar los pendientes, á pesar de la marcha marcada en los itinerarios y las prescripciones reglamentarias.



en la que a es el ancho, y si se trata de una vía de un metro de ancho será

$$S = 0,478 \frac{V}{R}$$

ó en fin en números redondos

$$S = 0,5 \frac{V}{R}. \qquad (3)$$

La sobre elevación tiene un límite para las curvas de muy poco radio á fin de no dar lugar á inclinaciones de los vehículos demasiado pronunciadas y peligrosas, por lo cual hay compañías de ferro-carriles de vía ordinaria que no dan más que 15 centímetros y otras llegan, empero, hasta 22. El límite 15 centímetros nos parece bién adoptado, y análogamente para las vías de otro ancho se podrá adoptar el límite que resulta de la expresión

$$l = \frac{0,15}{1,672} a \quad \text{ó bien} \quad l = 0,0897\, a$$

que para la vía de metro en números redondos será $0,^{m}09$ el límite superior.

De la aplicación de estas sencillas fórmulas y de la adopción de los límites fijados resultará las sobre elevaciones siguientes:

	SOBRE ELEVACIÓN EN *Vías ordinarias*	*Vías de un metro*
	$s = 0'9 \frac{V}{R}$	$s = 0'5 \frac{V}{R}$
	$V = 50$ Km; límite $l = 0'150$	$V = 30$ Km; límite $l = 0'09$
Radios de 80 mts.	»	s=0'090
» 100 »	»	=0'090
» 150 »	»	=0'090
» 200 »	s=0'150	=0'075
» 250 »	=0'150	=0'060
» 300 »	=0'150	=0'050
» 350 »	=0'129	=0'043
» 400 »	=0'113	=0'037
» 500 »	=0'090	=0'030
» 800 »	=0'056	=0'019
» 1000 »	=0'045	=0'015
» 2000 »	=0'023	=0'008

Uno de los ferro carriles de vía de un metro que con justo motivo se tiene por bien establecido, es el de Hermes á Beaumont, perteneciente á la Compañía del Norte de Francia, y sin embargo, los desniveles dados á los carriles en las curvas, son algo mayores que los que nosotros acabamos de determinar racionalmente, como puede verse por los siguientes números:

Radio de	100 metros.	desnivel dado	0^m,120
Id.	150 »	id.	0^m,100
Id.	200 »	id.	0^m,080
Id.	250 »	id.	0^m,070
Id.	300 »	id.	0^m,060
Id.	400 »	id.	0^m,030
Id.	800 »	id.	0^m,020
Id.	1.500 »	id.	0^m,010

Y el límite superior llega á 12 centímetros: es, pues, mayor que el que antes aconsejamos.

Los demás detalles del asiento de la vía se tratarán como en las líneas comunes tanto para el paso de una á otra rasante, como para calcular la proporción de carriles largos y cortos, como, en fin, para hacer desaparecer la sobre elevación de las curvas, que siempre deberá llegar hasta el mismo punto de contacto, sin que esté de más añadir, que una disminución de un milímetro de ésta por cada metro de recta dá excelentes resultados y es facilísima su determinación para que esté al alcance de los capataces ménos instruidos.

VIII.—*Material fijo y aparatos.*

LÁMINA IV.

Con la denominación de material fijo de la vía, se designan los cambios y cruzamientos, las intersecciones de vía, las placas giratorias, los carros *travers* ó trasportadores y las básculas de pesar vagones y locomotoras; es decir, que se comprende con la denominación de fijo con todo y ser material que se mueve, en contraposición del material móvil, porque aquel tiene una muy limitada carrera y éste no tiene limitación alguna mientras haya vía.

Con decir que estos aparatos tienen una construcción enteramente análoga, sea cual fuere el ancho de vía á que se dediquen, queda dicho ya cuanto debemos, puesto, que no nos hemos propuesto hacer un tratado de ferro-carriles y suponemos á nuestros lectores perfectamente enterados de las partes diversas que constituyen un ferro-carril ordinario, ó cuando ménos provistos de los libros más acreditados en esta materia. Por consiguiente, nos vamos á limitar á consignar unas cuantas observaciones, que, aúnque vulgares, no siempre se tienen en cuenta como es debido.

En los cambios de vía se harán de acero, indispensablemente, agujas y cruceros. Las primeras tendrán una longitud, de 5 á 6 metros si se trata de vía ancha y de 3m 5 á 4 metros en vía de un metro. Las curvas de enlace entre los dos elementos se harán de 200 á 300 metros de radio en los primeros y de 100 á 200 en los segundos. Por poco que sea posible se colocará en recta una de las vías, para que los capataces las sepan conservar, pero también se podrán hacer simétricos, desimétricos y en curvas de un



mismo sentido. Podrán hacerse triples, con agujas dobles cortas unas y largas otras, situadas en un mismo lugar, ya sea poniendo las cortas al interior de la vía con respecto á las largas, ya estas dentro y aquellas fuera, como es costumbre más común, ya en fin, una de cada clase al interior, como es más lógico y ménos peligroso en razón de reducirse á la mitad la diferencia de ancho de vía que resulta en los otros casos en los extremos de las agujas cortas.

Podrán por último, colocarse unas segundas agujas en un punto cualquiera comprendido entre las agujas primeras y el crucero de un cambio para ganar longitud, si bien se complica un poco el aparato, por resultar una intersección irregular.

En el enlace de una vía ancha con otra estrecha, ocurrirá tener que colocar un carril ó los dos de la segunda dentro de la primera y entonces se necesitarán cruceros, placas, y otros aparatos especiales que permitan el paso por ambas; pero, que son fáciles de dibujar y construir.

En fin, se disminuirá cuanto sea posible el número de tipos de cruceros de un ferro-carril dejándolos reducidos á uno ó á lo sumo á dos y sólo en casos verdaderamente excepcionales y por razones de importancia se admitirán otros ángulos que los fijados. Tampoco se aceptarán ángulos demasiado abiertos ó cerrados, siendo recomendables los que tienen por tangentes 9, 10, 11 y 12 centímetros, especialmente 10 centímetros.

Las placas giratorias, si son para vagones se adoptarán del sistema de *galets* móviles; con cuba de fundición y cimiento de balasto, y si son para locomotoras se hará que su diámetro permita girar máquina y tender á la vez, no escatimando su longitud para que la locomotora pueda equilibrarse, con lo cual se conseguirá el ventajoso uso de las placas equilibradas que puede volverlas un niño, aún estando cargadas, siempre que el pivote sea de una invariabilidad completa. Cuando se emplée material móvil lijero, especialmente en las vías estrechas, será muy recomendable el uso de carros travers, en lugar de placas para disminuir el capital de primer establecimiento. Los discos de señales se colocarán á distancias de las agujas proporcionadas á la naturaleza de la rasante de la vía del lado donde han de ver los trenes la señal roja, mientras, no haya alguna ley absurda que determine por igual esta distancia en todos los casos; pues claro

está que si en una vía horizontal se conceptúan necesarios 800 metros de longitud para pasar los trenes provistos de frenos comunes, en una rampa de 2 por ciento, supongamos, será precisa una menor extensión fácil de determinar por la resistencia ofrecida por dicha rampa, según explicamos en su lugar. Las palancas de maniobra de los discos será muy útil que estén cerca del despacho del Jefe de estación para que éste los tenga á mano fácilmente y será bueno, además conjugarlas de modo que no puedan estar los dos discos abiertos á la vez.

Las gruas hidráulicas con tanques de hierro sencillos ó dobles, con cubas de igual cabida, si circunstancias especiales del local no exigen otra cosa, puestas 50 centímetros por lo ménos más altas que ellas prestarán muy buenos servicios. Las gruas de cargamento en ferro-carril de poco tráfico, pocas veces convendrá que sean giratorias y fijas en un muelle, sino más bién prestarán mejor servicio montadas sobre un vagón para poderlas llevar á la estación que sea necesario ó las llamadas de diligencia que permiten pasar por debajo los carros que se han de cargar ó descargar, y corren á lo largo de una vía destinada á este objeto.

IX.—*Estaciones y otras dependencias.*

Estaciones.—Hay que distinguir en ellas las vías y los edificios, Unas cosas y otras dependen de la importancia del tráfico y del sentido en que este tiene lugar.

Distínganse en primer término, la posición de las estaciones con relación á la línea; esto es; si son extremas intermedias ó de empalme.

Las extremas por lo que respecta al servicio de viajeros, se dividen en tres tipos: *cerradas, bilaterales, y semilaterales.*

Y como un ferro-carril de esta clase pocas veces tendrá sus extremidades en poblaciones de grande importancia siendo conveniente poderle continuar siempre, no debe aconsejarse en la generalidad de los casos otro tipo que el tercero.

El número de vías dependerá de la categoría de la estación. Cuatro clases generalmente se admiten en los ferro-carriles ordinarios, además de los simples *altos*; pero en las nuestras sólo deberán admitirse dos ó á lo sumo tres, y unas y otras se reducirán á la mayor sencillez y economía posibles.



En los altos ó apeaderos no ha de haber más vía que la general, ni más edificio que uno de la última categoría con un solo andén y un pabelloncito para escusados. En las estaciones de última clase se pondrán una segunda vía y un muelle descubierto, ó cubierto según si las mercancías de ellas pueden ó no averiarse por la lluvia y el sol. En este caso se dejará entre el andén de viajeros y el muelle, espacio suficiente para el número de vías que el desarrollo próximo del tráfico pueda exigir. No es muy común la construcción de muelles de mercancías en estaciones de muy escasa importancia; pero creémos que es preferible ahorrar el gasto en las explanaciones, en el sistema de vía, en mil otras cosas que en esto que es gasto reproductivo y la Compañía ha de tocar los beneficios de las facilidades del tráfico en el aumento de éste.

Algunos, en estas estaciones se limitan á poner un desvío ciego del lado del edificio de viajeros ó del opuesto; pero cumple mejor el objeto la solución que proponemos, porque facilita muchísimo las maniobras y permite el cruce de trenes. Por supuesto, si se tratara de un pequeño ferro-carril explotado con un sólo tren movido de uno á otro extremo, como una lanzadera, sería supérflua la existencia de vías para el cruce de trenes. En las estaciones inmediatas, superiores en importancia á las que anteceden, se pondrán dos vías además de la general á un mismo lado de ésta, ó una á distinto lado de la otra y según la importancia del tráfico así será el número de vías que se adopte, y si bién no es posible dar reglas fijas los mil ejemplos que ofrecen los ferrocarriles construidos podrán servir de términos de comparación.

Las mejores disposiciones para las estaciones de empalme serán las llamadas de *flecha* y las semilaterales y bilaterales. Las primeras tienen el edificio de viajeros en la abertura del ángulo formado por las dos líneas principales que se reunen á las cuales pueden concurrir aisladamente los demás ramales, si fuesen más de dos las líneas concurrentes. En este caso, además de las agujas conviene que reunan éstas dos líneas una ó más baterías de placas.

Las semilaterales suponen todas las líneas concurrentes á un mismo lado del edificio de viajeros, en el cual se dispondrán por lo ménos tantas vías como líneas se reunan, á fin de que cada una de ellas esté destinada á recibir sus trenes. En ellas pueden concurrir líneas de diferentes anchos mediante el uso de mate-



rial fijo estudiado al efecto, conforme dijimos antes; si bien en este caso, á no ser que dificultades graves de la localidad lo impidan, será preferible que á la manera de las estaciones de término bilaterales quede el edificio de viajeros entre las dos principales vías concurrentes, siendo la vía estrecha la que vaya á parar junto á la fachada principal del edificio, aúnque sin atravesar el patio de viajeros y quedando común uno de los extremos del andén (fig. 6).

Los desvíos destinados al servicio de las fábricas, minas y otras explotaciones importantes, se reducirán á un ramal de la vía principal si están en plena vía, empalmando con ella por medio de un juego de agujas que se cerrarán por un pasador y un candado, pudiéndose hacer la unión con una placa giratoria si sale de una estación. En esta clase de caminos de hierro deben prodigarse estos desvíos y para evitar gastos cuantiosos se limitarán á la vía y un muelle que podrá estar dentro de la fábrica en el sitio más próximo á los almacenes de primeras materias y de productos elaborados, provistos si necesario fuera, de elevadores para ahorrar mano de obra.

La longitud de los desvíos lo mismo que la de los andenes de viajeros, dependerá del número de vehículos de que se habrán de componer los trenes, y es inútil que nos extendamos en un punto tan sencillo; sólo diremos que conviene dejarlos todo lo largo que sea posible llegando los primeros á 400 de longitud para vías de un mediano tráfico y material ordinario y 100 m^s. los segundos. La tendencia actual es de aumentar aún estas longitudes á 500 m^s. y á 200 respectivamente; pero si en un gran tráfico y rampas suaves esto es útil, no lo es ya en ferro-carriles de poco tráfico, y menos si son de fuertes rampas.

El número de desvíos debe á veces aumentar, para hacer frente á la detención de trenes por las nieves, si el ferro-carril atraviesa una región de más de mil metros de elevación sobre el nivel del mar, ó si hay contiguas grandes rampas. Estos desvíos de reserva se pondrán á las estaciones inmediatas á estas regiones que puedan interceptarse por la nieve ó en las cuyas rasantes obligan á diferir vagones de los trenes largos para subirlos en máquinas especiales para el servicio de las rampas.

La instalación de las mercancías en opuesto lado que el servicio de viajeros en las estaciones intermedias obliga á la cons-



trucción de un doble camino lateral de acceso á los muelles y un paso á nivel; cosa que supone un gasto importante de construcción y á veces de vigilancia; por cuya razón algunos preferían ó bién un desvío ciego que termine junto al edificio de viajeros ó un desvío completo que principie en un extremo del anden y termine más allá de las agujas de viajeros (figs 3 y 4); pero el primer tipo tiene el inconveniente de no poder dar salida al desvío ciego el día que se le juzgue de primera necesidad, además de ser una amenaza para el edificio de la estación, y el segundo no permite que se hallen reunidos los servicios de viajeros y de mercancías, como interesa en un ferro-carril de esta clase para reducir cuanto sea posible el personal de la explotación; por estas razones, salvo muy contados casos, creemos más conveniente poner el servicio de mercancías en el lado opuesto al de viajeros (fig. 5).

En las estaciones de mucho tráfico hay que reunir entre sí con placas ó carros travers, las vías por una ó más filas de placas. Si con una, se procura emplazarla hacia el centro; si con dos filas, se pone una á cada extremo de los muelles, distando entre sí unos ochenta metros. En el extremo de una de estas filas se coloca un puente-báscula y el gabarit de cargamento cuando son necesarios estos aparatos por la importancia ó por la naturaleza de la mercancía que se carga, y aún con respecto al gabarit, por la proximidad de túneles ú obras de fábrica de sección reducida por las cuales no puedan pasar vagones de mayor volúmen que el marcado por el gabarit.

Para evitar arrastres de material inútiles, se colocan cocheras ó reservas de coches en aquellas estaciones que den mayor contingente de viajeros, y excepto en las estaciones de mucha importancia donde el material móvil que se tiene es mucho y le hay de mucho coste, se dejan estas reservas al aire libre.

También se han de establecer reservas y depósitos de máquinas, sea con el fin de formar los trenes ó relevar á las máquinas despues de un recorrido de más de 100 kilómetros (tratándose de largas líneas), sea para alojar las máquinas de rampa destinadas á subir vagones en un corto trayecto de mucho desnivel.

Cuando se trate de líneas cortas bastará una sola cochera en uno de sus extremos, en aquel donde se establezcan los talleres, y estos se harán en el que sea más barato el terreno ó haya ele-



mentos especiales, motor por ejemplo, muy económico. En el otro extremo á lo sumo se pondrá un cubierto para una ó dos máquinas, que muchas veces ni será necesario.

Los edificios de viajeros de las estaciones secundarias se reducirán á su menor expresión proporcionando empero, si no comodidad, abrigo á los viajeros; y á la verdad, es difícil conseguir ambas condiciones, sin que hayamos visto hasta ahora una solución satisfactoria. La planta baja representada en la fig. 7, no es del todo mala, á nuestro entender, y ofrece como decimos un vestíbulo donde pueden aguardar los viajeros, y tiene además las piezas extrictamente necesarias: despacho del Jefe y telégrafos, almacen de bultos y pequeño local para lampistería. La habitación del Jefe se supone en el piso alto, y podrá componerse de cocina, comedor, tres dormitorios y escusado.

Hay, empero, ferro-carriles económicos donde los apeaderos no tienen edificio alguno confiando á un vecino próximo el cuidado de la expendición de billetes y custodia, carga y descarga de mercancías, ayudado del conductor, fogonero y aún puede prescindirse del primero cuando la economía lo exije; dejando que el mismo conductor del tren expenda los billetes á la manera de las tranvías urbanas; si bién, esto no permitirá nunca una explotación regular por no poderse expedir mercancías ni mensagerías.

A medida que las estaciones van siendo más importantes, serán precisas más dependencias en los edificios de viajeros: deberá haber local para jefe de estación, factor, telegrafista, expendeduría de billetes independiente, habitaciones para los nuevos agentes, etc., no olvidando nunca que se trata de ferro-carriles de poco coste cuyo capital interesa mucho reducir.

De las marquesinas para cubrir los andenes, tan cómodas y convenientes, habrá que prescindir muchas veces dejándolas para aquellas estaciones donde los trenes más rápidos tengan más de cinco minutos de parada.

Los andenes se harán anchos de cuatro ó cinco metros y de 30 á 35 centímetros de altura sobre el carril procurando ganar diez centímetros de ésta con el balasto, para que sea más fácil de salvar á las personas ancianas.

Los muelles cubiertos se completarán con un alero que permita efectuar la carga y descarga de los vagones sin que se mojen por la lluvia las mercancías, y un ancho de 6 á 8 metros se-



ESTADO DE LOS FERRO-CARRILES

NOVIEMB

Nombre de la línea.	N.º de kilóms. concedidos.	N.º de kilóms. en explotación.	Ancho de la vía de eje á eje de los carriles.	Material de que son los carriles.	Peso por metro lineal de carril.	Longitud maxima de los carriles.	Altura del carril.	Ancho de la cabeza del carril.	Ancho de la base del carril.	Material de que son las traviesas.	Separación de las mismas.
			metros.		kgs.	Metros.	Metros.	Metros.	Metros.		Metros.
Ferro-carril de Mallorca	137	73	0,966	Hierro. Acero.	22	8	0,090	0,651	0,090	Pino.	0,800
Ferro-carril de Valladolid á Medina de Rioseco..	44	40,780	1,040	Acero.	19,281	8	0,100	0,040	0,084	Id. Roble.	0,70 0,70 0,80
Ferro-carril de Villena á Alcoy y Yecla.	110	25	1,05	Id.	24	6				Roble.	0,80
Ferro-carril de Manresa á Berga . .	53,298	10·00	1,044	Id.	19.833	6	0,098	0,0445	0.0785	id.	0,82 0,85
Ferro-carril de Zaragoza á Cariñena.	46	0,00	1,044	Id.	20,000	6.50	0,100	0,044	0,088	Pino.	0,927
Ferro-carril de Tarazona á Tudela.. .	21,548	0,00	1,047	Id.	20,000	6,00	0,0885	0,047		Roble	0,68 0.56
Ferro-carril de Villalba á las canteras del Berrocal.	11	11	0,800	Id.	12,000	6,20	0,060	0,024	0,055	Id.	0,80
Ferro-carril de Durango á Bilbao. . .	34	34	1,040	Id.	16,666	6,00	0,090	0,040	0,070	Id	0,83
Ferro-carril de S. Juan de Horta á la Sagrera.	2,796	2,796	1,040	Id.	17,500	SISTEMA LOUBAT				Id	0,80
Ferro carril de Silla á Cullera. . . .	26	26	1,040	Id	17,500	6,00	0,076	0,043	0,070	Pino. Carrasca.	0 80
Ferro-carril de S. Andres á Barcelona.	32	5	1,060	Id.	27,000	9,00	0,110	0,060	0,100	Roble.	0,80
Ferro-carril de Madrid á S. Martin de Valdeiglesias.	74.425	0.00	1,000	Id	20 295	4.50	0,098	0 048	0 075	Pino	0,72
Ferro-carril de Oviedo á Cangas de Onis.	75,265	0,00	1,048	Id.	20,295	6,00	0,098	0,048	0,075	Roble	0,90
Ferro-carril de Linares a los Salidos. .	9	9	1.000	Id.							
Ferro-carril de Oviedo á Santander. .	216,542	0,00	1,050	Id.	21,827	6,00	0,098	0,043	0,078	Id.	0.84
Ferro-carril de Bilbao á las Arenas.. .	13,011	0,00	1,040	Id.	16,660	6,00	0.090	0,040	0,070	Id.	0,82
Ferro-carril de Madrid á Vaciamadrid.	14,634	0,00	1,000	Id	19,000	6 00	0,091	0,0425	0,0725	Id. ó pino.	0,80
Ferro-carril de Galdames á Sestao (Bilbao).	22	9,50	1,140	Id.	28,000						
Ferro-carril de la Orconera á Luchana.	10	10	1,000	Id.	28,000						
Ferro-carril de las minas de Riotinto y Huelva.	83	83	1,070	Id.	25,000						
Ferro-carril de Tarsis al Rio Odiel. . .	46	46									
Ferro-carril de Buitron á la ria de San Juan del puerto.	49	49									
Ferro-carril de Carcajente á Gandia..	35	35									
Ferro-carril de Ecija a Marchena. .	44	44									
Ferro-carril de Alcalá de Guadaira á Carmona.	28	28	1,060	Id.							



ESPAÑOLES DE VÍA ESTRECHA

RE DE 1884.

¿Las juntas se hacen al aire ó sobre traviesas?	Radio mínimo de las curvas	Pendiente máxima.	Peso de las máquinas.	N.º de ruedas y el de las acopladas.	Velocidad media de los trenes	Coste kilométrico.	Recaudación anual kilom.a de la parte explotada.	Gastos de explotación por kilómetro.	Ancho mínimo de los terraplenes.	Ancho mínimo de los desmontes.	Relación entre los gastos y los ingresos.	OBSERVACIONES.
	Metros		Toneladas.		Kilmts.	Pesetas	Pesetas.	Pesetos.				
al aire	350	1,4 p%	20 y 30 T	4 acopladas y bogie		86758,29	8251,63	3560,45			0,43	
Id.	35	2 p%	14 T	4 acopladas todas	20		4000 solo viajeros por ahora	3500 próximamente				Este radio tan reducido está en las estaciones ó en la vía pública; en plena vía el mínimum es 100 metros.
Id con bridas especiales	150	2 ½ p%	24 T	6	30	100,000	1825,00	438	4,80	5'60		
En la carretera sobre traviesa y fuera al aire	65 / 50	2,90 p%	1 T	6	20							En construcción aun que muy adelantada.
sobre traviesa	200	2 p%	21 T	6	30	90000						Id. Id. Id.
al aire	100 / 300	1,80 p%				70000			3,104	4'104		
S. traviesa	50	2,53 p%	10 á 13 T	4 acopladas	20				2,20	2,50		
Id.	100	1,3 p%	12 ½ T / 15 T	6	28	120,000	15000	6000	3,20	4'000	0,46	
d.	60	3,8 p%	6 T	4	14							Emplazada en un camino vecinal.
al aire	200	0,6 p%	13 T	6 / 4 acopladas	25	40000	6000	3650	3,50	3,50	0,61	Hay además máquinas de 4 ruedas acopladas y 4 en avantren.
todas clases	50	2,3 p%	8 T	4 Id.	8 á 15						0,40	
S. traviesa	150	2.5 p%	16 á 21 T	6 Id.	15 á 20	62540				3'150		La curva de 70 mts es por escepción, las de menor radio son de 90 mts.
Id.	70	1,88 p%	21 T	6 Id.	20	73709			4,000 / 3,400	3'400		
Id.	200	2 p%	20 á 15 T	6 Id.	20	82899				3'700		
Id.	60 y 80	2,25 p%	15 T	6 Id.	15	116515			3,900 / 3,200	4'000		
Id.	250	3 p%	18 T	6 Id.	15	57280			3,500	3'000		
	80	2,25 p%	30 T	6 id.	15	567381						El coste es escepcional por el de la estación de Sestao y cargaderos.
	120	2,50 p%	23T	6 Id.	13,5 y 15	446000						Se halla en caso parecido al anerior.
	145	2,50 p%			18,50	241000						No sirve más que para las minas de la Compañía.
												Tiene condiciones analgas á la anterior.

rá casi siempre suficiente. La adopción de luces mayores sale demasiado cara. Las cubiertas se harán con cuchillos de madera, en obsequio á la economía, y en obsequio á la duración, se colocarán tejas planas si se tienen á mano ó sino se pondrán tejas árabes, en la inteligencia de que unas y otras deberán ser muy bién cocidas, de lo contrario se preferirá plancha de hierro galvanizada ó mejor plancha de zinc ondulada del n.º 14 que teniendo 2,^{m}25 de largo por 0,^{m}75 de ancho pesen 13 kilógs. Siempre que se emplee plancha se cuidará de no clavarla con clavos directamente, sino que se fijará por medio de *grapas embordadas*, soldadas en dos filas de tres cada una separadas de 1,^{m}05 á cuya distancia se pondrán las correas.

Los muelles de carga descubiertos para ferro-carriles de ancho ordinario tendrán 1,^{m}10 de altura, y el ancho podrá variar, según la mercancía que deba cargarse entre 6 y 12 metros. Para las mercancías de mucho peso, será lo mejor, dejar que los carros suban sobre el muelle afirmado con piedra machacada.

Edificios varios.—Las cocheras de locomotoras se hacen de base circular, ó mejor dicho poligonal, en los grandes ferro-carriles, cuando han de alojarse muchas máquinas; pero en los de poco tráfico, sería preferible hacerlas rectangulares pudiendo poner dos máquinas sobre una misma vía trasversal, y sirviéndose de un travers ó carro-trasportador cuando se tenga más de una vía, si este carro no fuese más pesado de manejar que las placas giratorias equilibradas de que antes hemos hablado, las cuales hacen que á pesar de ser más cara la construcción de las cocheras circulares y de serlo también más las giratorias que los travers, se seguirá dando, por ahora, la preferencia á las de esta última clase.

Cuando se dispone de terreno suficiente puede emplearse la disposición rectangular sirviéndola por cambios de vía en lugar de travers, y así no se está expuesto á las contingencias de la descomposición de un aparato que puede impedir sacar las máquinas de la cochera en un momento dado.

Los mejores materiales para la construcción de una cochera de máquinas será la mampostería ó el ladrillo para las paredes, la madera para los cuchillos y la teja bién cocida para la cubierta, pués la plancha se destruye fácilmente.



Y con objeto de que el humo y el vapor sean ménos funestos á la cubierta, se hará que la altura del edificio no sea inferior á 6 metros en los puntos más bajos.

En otro lugar nos ocuparemos de la necesidad absoluta de reducir el número de los pasos á nivel y sobre todo el de los vigilados, evitando también la construcción de casillas destinadas á los agentes de la vía encargados de su custodia; pero habrá ocasiones en las que será indispensable construir alguna y para ello damos el tipo de las figs. 8, 9 y 10, que á no costar más de dos mil quinientas á tres mil pesetas, reune las ventajas de ser suficiente para una familia y ser sana por estar aislada del suelo la parte comunmente habitada. Tal vez haya quien juzgue demasiado buena esta vivienda, pero estamos convencidos, por lo que mil veces hemos podido observar, que el decoro y la higiene de consuno exigen lo que con nuestra casilla otorgamos.

Los materiales empleados en ella son la mampostería ó el ladrillo al descubierto ó las dos cosas concertadas á la vez.

CAPÍTULO III.

FERRO-CARRILES DE POCO COSTE EN ESPAÑA.

I. Estado actual.

Hasta ahora se han construido pocos ferro-carriles económicos de vía ancha en España, y dicho se está que comprendemos en esta denominación los ejecutados con la mira de que salgan baratos admitiendo rampas fuertes, curvas de poco radio, obras hechas con materiales de poco coste, explanaciones sin paseo ó con paseo reducido, carriles ligeros, etc., etc.; empero, se han construido algunos pequeños ramales, que pueden llamarse así, si bién sus proporciones generales, el peso de los carriles y las rampas y curvas se diferencían poco de los demás, distinguiéndose más bién por el carácter de los edificios y por los materiales empleados.

Y en cuanto á ferro-carriles de vía estrecha, hé aquí los datos que hemos podido reunir, gracias á la amabilidad de compañeros nuestros, y de otras personas á quienes aprovechando esta oportunidad, les damos las más expresivas gracias. (Véanse páginas 154 y 155).



Examinado el cuadro que antecede, observamos que el número total de kilómetros construidos es la cifra 551, de los cuales ya hay 232 kilómetros de líneas mineras estrechas de tráfico descendente; y que estén construyéndose, siendo pronto un hecho su construcción, no nos atrevemos á citar más que los concedidos según el cuadro y muy especialmente el de Tarazona á Tudela y 38'837 kilómetros que es la distancia que medía entre Manresa y Gironella de la Compañía del ferro-carril de Manresa á Berga, que dentro poco más de unos seis meses inaugurará el pequeño trayecto comprendido entre la parte alta de Manresa y Sallent.

Todos estos ferro-carriles están á cargo de compañías independientes de las grandes compañías á donde afluyen, excepto los de Tarazona á Tudela y de Villalba á las canteras del Berrocal que pertenecen á la del Norte, y la mayor parte de los mineros no hacen servicio completo de viajeros y mercancías, pues son propiedad de compañías mineras y se construyeron casi exclusivamente para la explotación de las mismas, como sucede con las líneas de Bilbao y las de la provincia de Huelva.

Algunas de ellas, como la de Manresa á Berga, la de San Juan de Horta á la Sagrera y aúnque poco, la de Zaragoza á Cariñena, ocuparán la carretera en parte de su longitud y lo que es peor lo harán sin ensancharla, causando perjuicios de mucha entidad á la circulación pública; no sólo por el espacio que ya á un lado ya á otro le tomarán y por los peligros que necesariamente correrán los transeuntes pedestres y rodados, sí que también por la valla que la vía establecerá en los puntos donde pasa de un lado á otro de carretera, estropeando completamente sus perfiles longitudinal y trasversales, y encharcando aguas que contribuirán pronto á la destrucción de ambos caminos y á la incomodidad del público.

Los anchos de vía adoptados vemos que son cuatro: 0'966 de eje á eje de los carriles en la de Mallorca, 0'800 en la de Tarazona, 1 metro en el de Madrid á San Martín de Valdeiglesias, sin construir, 1^{m},14 en la de Caldames á Sestao y 1^{m},045 próximamente ó sea un metro en el interior de los mismos en todas las demás. Por esta razón dijimos en la primera parte de esta Memoria que recomendábamos el ancho de 1'045 uniforme á todas las vías estrechas que se establezcan: una diferencia pequeña no



significará nada para ellas y la uniformidad en determinados casos podrá prestar muy buenos servicios. Naturalmente que si el ferro-carril fuese aislado sin probabilidades, ni remotas, de poderse ver enlazado con otro alguno, entónces podría adoptarse el ancho que fuese precisamente necesario para el tráfico á que se le destina. Y esta excepción la admitimos para anchos menores de un metro que si mayor que esta latitud la aconsejase el cálculo, sin rodeos debe irse al ancho normal con las rampas menores y radios máximos que económicamente hablando, sean posibles.

El material de vía adoptado para los carriles, es en todos el acero, de 20 kilógramos metro líneal, por término medio: peso que ya recomendamos con la reserva de su resistencia, según dijimos al ocuparnos de la vía.

El radio mínimo de las curvas, es de 60 metros, en vías de 1 metro entre carriles, en puntos de gran dificultad, y sólo por excepción en el de Valladolid á Medina de Río Seco se han puesto curvas de 35 metros de radio para poder aprovechar la calle y carretera de Valladolid en los primeros tres kilómetros y de 50 en el de Manresa á Berga por un motivo análogo. Radios tan pequeños si bién son franqueables y á pesar de que cada día se construirá material móvil más adaptable á las vías de difícil trazado, no se pueden admitir más que en casos apurados conformándose de que los trenes en ellas pasen con precaución: creemos no debe bajarse de 80 metros en plena vía, para hacer una explotación sin dificultades.

En punto á rasantes, vemos que excepto en un corto trecho del de San Juan de Horta á la Sagrera que tiene 3,8, en ninguno de estos ferro-carriles se pasa del tres por ciento, siendo el de Manresa á Berga el que las tiene más fuertes, y se emplean máquinas de 14 á 30 toneladas, ó sean 21T por término medio, con 4 y 6 ruedas acopladas, debiendo marchar de 20 á 30 kilómetros por hora.

El coste es relativamente reducido, oscilando entre 70,000 y 120,000 pesetas, excepción hecha de los ferro-carriles mineros de Bilbao, que por estar en terrenos muy quebrados, por tener grandes longitudes de vías y partes de la principal dobles, y tener instalaciones especiales en el puerto, constituyen casos especiales que hay que eliminar del cuadro; de modo, que por término



medio, salen á 81,300 pesetas y sentimos no saber el coste del de Manresa á Berga, porque es el más difícil de todos los trazados restantes, y si bién la circunstancia de aprovechar la carretera parece ha de disminuir su coste y eliminarlo de los que pueden servir como punto de comparación no es así, porque para aprovecharla han sido preciso obras de bastante importancia que no han permitido mucha economía con respeto á lo que les hubiere costado la explanación propia en toda su longitud.

En fin, para la apreciación del producto kilométrico y de los gastos, tampoco tenemos suficientes elementos para determinarlos con seguridad, en razón de que á excepción de los ferro-carriles de Mallorca, de Durango y de San Andrés, los demás que comparamos ó no están todavia en explotación ó si lo están hace poco tiempo y no se puede juzgar de lo que son susceptibles de dar. El de Medina de Río Seco, por ejemplo, hace sólo dos meses que se abrió al servicio de viajeros y hasta primeros del año próximo no se abrirá el de mercancías; suponiendo, sin embargo, que el producto de las mercancías es 1'8 del de viajeros, lo cual no es mucho suponer si se explota bién, puede esperarse un ingreso de 7,200 pesetas por kilómetro en los primeros años de explotación, lo que no deja de ser lisongero para una línea de aquella índole. Los gastos de explotación tampoco pueden deducirse de un modo completo y concretándonos para ello á los del cuadro vemos que en el de Mallorca resultan ser los 0,43 de los ingresos, apreciados en 8251'63 pesetas por kilómetro; en el de Villena á Alcoy y Yecla desgraciadamente hoy día distará mucho de cubrirse los gastos, y tardarán bastante en conseguirlo y en el de Durango se gastan sólo los 0'40 de la notable recaudación de 15000 pesetas por kilómetro, que permite distribuir el 8 por % á los accionistas, y lo mismo se gasta en el de San Andrés.

¿Dígasenos, pues, si con resultados tan poco halagüeños, en general, se puedan gastar cuantiosas sumas en la construcción de nuestros ferro-carriles de poco tráfico?

II. Necesidad de completar la red.

Con todo y tener tan pocos kilómetros de vía estrecha y de ramales secundarios, según hemos visto en el artículo anterior, tenemos una red general muy limitada, pues sólo contamos 8129



kilómetros de los cuales hay 911 en Cataluña; de modo que la región de la Península más dotada de este poderoso elemento de la civilización del vapor y de la electricidad es nuestro antiguo Principado, como prueba evidente de ser esta la región en que más viva se mantiene la lucha de actividad que en el mundo presenciamos.

Si aquella cifra la reducimos á la correspondiente al año 1881 á que se refieren los otros datos más modernos, de los adjuntos cuadros, ó sea á 7739 kilómetros se verá bién cuán atrasados andamos en materia de ferro-carriles y cuantos años han de transcurrir para ponernos al nivel de los demás países á quienes tenemos deber *cuando ménos* de igualar.



ESTADO DE LOS FERRO-CARRILES DE VÍA ANCHA EN EUROPA.

NACIÓN	LONGITUD kilómetros	Producto bruto Pesetas	Relación del gasto al producto	AÑO	Núm. de habitantes por 1 kilóm. de vía en el año 1880 (1)
Gran Bretaña kms. 20606	29244	66641	0'52	1880	1229
Escocia. . . » 4710		36980	0'51	1881	
Irlanda. . . » 3928		16563	0'56	1881	
Francia.	22767	40583		1881	1669
Italia.	8277	31418	0'72	1882	3382
Suiza.	2571	22424	0'65	1881	1089
Bélgica.	4299	31809	0'65	1880	1256
Holanda.	2236	19953		1880	1699
Austria-Hungría. . . .	17257	27862			2086
ALEMANIA: Baden.	1313	26955			1218
ALEMANIA: Baviera.	4129	27476			1210
ALEMANIA: Prusia.	19791	35742	0'53		1313
ALEMANIA: Sajonia.	2019	35881			1386
ALEMANIA: Würtemberg.	1390	24316			1360
ALEMANIA: Alsacia y Pequeños-Estados.	1770	35310			2824
Dinamarca.	1557	9160	0'47 / (2) 0'81		1156
Suecia.	4590	9000	0'50		980
Noruega.	813	7536	de 0'64 á 0'88		2337
Rusia.	20328	28967			3640
España.	7739	33415	(3) 0'39	1883	2160
Estados Unidos de América.	135530	19516			376

(1) Se exceptúan Baviera, que se refiere al año 1879, Noruega y Rusia al 1878.

(2) Las líneas explotadas por el Estado exigen el mayor de estos dos coeficientes, y las compañías particulares el menor, según los datos tomados en la *Revue générale des chemins de fer* referentes al año 1878.

(3) Careciendo de datos generales respecto de España y en la imposibilidad de reunirlos dentro del plazo necesario, ponemos los que resultan de la Memoria de la Junta general de accionistas de la extensa red del Norte, que tuvo lugar este año.

ESTADO DE LOS FERRO-CARRILES SECUNDARIOS EN ALGUNAS NACIONES DE EUROPA.

NACIONES	AÑOS	EXTENSIÓN DE FERRO-CARRILES ANGOSTOS en explotación Kilómetros	EXTENSIÓN DE FERRO-CARRILES ANGOSTOS en construcción Kilómetros	EXTENSIÓN DE FERRO-CARRILES ANCHOS CON CARRILES LIGEROS. Kilómetros.
Noruega.......	1875	560	—	—
Suecia........	1878	867	240	940
Bélgica.......	1880	71	—	—
Italia........	1880	46	—	532
Irlanda.......	1878	82	—	—
Alemania......	1880	260	—	—
Francia.......	1881	(?)	—	2343
España........	1881	299 (1)	106	0

Se nos dirá, que además de los construidos hay muchos proyectados; que en 1881, según la Memoria publicada por la Dirección general de Obras públicas, cuando el Sr. Page estaba encargado de ellas, había además de los 7739 kilómetros citados y 55 kilómetros de tranvías no urbanos, 1936 en construcción y 6842 proyectados de los primeros, además de 179 en construcción y 699 proyectados de los segundos, formando el conjunto de toda la red española, 17450 kilómetros.

Pero, en primer lugar hay que tener en cuenta que muchos de estos ferro-carriles no están proyectados siguiendo un plan general y en segundo lugar, que muchos otros no se realizarán nunca ó muy tarde, que es lo mismo, y si se realizaran sin obedecer á ningún plan general técnico ni económico darían lugar á nuevos fracasos financieros. No se arguya que en Inglaterra, por ejemplo, donde la construcción está enteramente abandonada á la iniciativa particular, ha habido una actividad asombrosa en la construcción de su red, porque ni aquí es Inglaterra, ni las

(1) No se comprenden en este número los ferro-carriles mineros de carácter particular.



condiciones que se imponen á los concesionarios de nuestras líneas son tan favorables como á los de aquellas. Obsérvese, sino, de qué modo se hacen estos proyectos: unas veces son las exigencias de la producción que reclama salida fácil á sus productos ó el consumo que asimismo exije sus artículos á precios reducidos, ó el mucho movimiento de viajeros de la localidad; en estos casos el pensamiento es muy laudable y justo y bueno es se le auxilie para que llegue á feliz término; pero otras veces es un negociante, que en ciertos casos se llama *ingeniero*, quien promueve el expediente al objeto de *hacer un negocio* constituyendo una sociedad y vendiéndole á buen precio la concesión; ó con la mira de hacer miedo á otro ferro-carril con la competencia busca una pingüe prima; ó con la idea de preparar un afluente á una compañía importante que piensa tal vez le pagará el proyecto; ó en fin con miras todavía ménos levantadas, es como se piden las concesiones. Tanto es así, que durante los últimos años de furor al alza de los valores públicos, hubo un verdadero pugilato de peticiones de concesiones, muchas de ellas duplicadas y aún triplicadas, con el objeto de crear acciones que dieran inmediatamente una prima á sus fundadores aún cuando hubiesen de quedar reducidas á papel de embalar. Muchas de estas concesiones figuran en las cifras dadas el año 1881 por la Dirección general de Obras públicas, y despues de lo que ha cambiado el precio de aquellos valores no hay que decir si se realizarán jamás.

Estamos, pues, muy lejos de la construcción del completo de la red, y sin embargo, dése una ojeada sobre un mapa de ferrocarriles y se verán extensas comarcas, inclusas capitales de provincia, que no tienen ferro-carril y viven en el mismo atraso que vivían medio siglo atrás. Y no se saldrá de este estado si no se buscan por otros caminos que los generalmente seguidos hasta ahora, los medios de fomentar la construcción de los ferrocarriles que tanto contribuyen á la ilustración y adelanto de los habitantes de los terrenos que atraviesan.

¿Cómo hacerlo? Este será el objeto del artículo siguiente.

III. Modo de completar la red española.

Nuestro país tiene por kilómetro cuadrado menor número de habitantes que los restantes de Europa, es más accidentado tam-

bién que aquellos, tiene pocos canales y por lo mismo su producción agrícola é industrial es reducida. En cuanto á la minería no es cosa que pueda desarrollarse en todas partes, porque no se encuentran siempre minerales y como la industria, excepto en Cataluña, casi no existe, de aquí que son tan reducidas las fuerzas vivas de muchas regiones de la Península, que no permiten esperar remuneración al capital de los ferro-carriles que en ellas se construyan, si no se hacen en condiciones de la más extricta economía en la construcción y en la explotación.

No hay que pensar, pues, en hacer obras de mérito, verdaderos alardes de los medios y del ingenio con que cuentan los ingenieros para resolver los problemas más difíciles de la construcción, y procurar que los túneles, los puentes, los viaductos, los terraplenes, desmontes, etc., sean lo más pequeños que puedan ser, huyendo de las grandes curvas para arrastrarse suavemente por encima del terreno, replegándose á todas las estribaciones de las montañas y escalándolas con uniformidad y método hasta las alturas más considerables; haciendo, empero, que las rampas sean todo lo suaves que se pueda siempre que sea posible sin un gasto mayor del que real y efectivamente puede permitir el producto bruto de los primeros años, aún cuando sea preciso para ello dejar por construir ciertas estaciones, edificios de guardas, desvíos que no sean absolutamente necesarios, etc., y limitando el número de locomotoras y de vehículos á los más indispensables para atender al primer tráfico. Claro está que este ahorro de capital de construcción, aúnque deba gastarse más tarde, representará un aumento de interés al restante desembolsado por la compañía. No queremos decir con esto, que deban suprimirse órganos necesarios desde los primeros días del ferro-carril, sino aquellos sin los cuales se pueda hacer la explotación sin aumento notorio en los gastos. A medida que el ferro-carril irá produciendo y tendrá más exigencias, se irán completando sus instalaciones.

No dejaremos tampoco de hacer todos los tanteos necesarios para acertar en la elección del mejor trazado, circunscribiendo las rampas á determinados puntos, evitando pendientes que las anulen si se ha de volver á subir despues, siempre con la sola mira de que el ferro-carril cueste barato, de construcción y de



explotación, seguros de que en la mayoría de los casos la pobreza de nuestras comarcas no habrán de permitir mayores gastos.

Adoptaremos la vía estrecha *sin titubear,* siempre que el gasto no permita la ancha; pero si ésta es posible sin grave perjuicio de aquel, y por consiguiente del interés del capital, aún cuando durante el primer quinquenio deba reducirse el interés de las acciones á 3 ó 4 p. %; se adoptará la ancha; porque esta posibilidad ya indicará cierto bienestar en la comarca, y por lo tanto, la más próxima necesidad de una vía de mucho tráfico ó tráfico regular. Si se opta por una vía estrecha, resueltamente se adoptará la de 1^m entre carriles con rampas hasta el 4 por % y curvas hasta 80 metros de radio y sólo por excepciones muy motivadas hasta 50 metros y asimismo las de ancho más pequeño en los sólos casos que hemos dicho antes, cuidando sin embargo, que aún cuando es muy difícil, se procure pueda convertirse en vía ancha cuando transcurridos muchos años el tráfico lo exija.

Muchas veces puede ser útil apoyar el ferro-carril en una carretera ensanchándola convenientemente y aprovechando terrenos, parte de las obras de fábrica, y los taludes de los desmontes y terraplenes con lo cual será ménos costoso, ya que de este modo es mucho lo que se puede ahorrar como demuestran con líneas punteadas los croquis figs. 11 y 12 de la lámina IV.

Pero cuando para conseguir esta utilización hay que sacrificar el trazado con curvas de poco radio y rampas fuertes, no debe admitirse más que como medio transitorio para abandonarse cuando el capital social lo permita.

De no hacerse así, no será posible poder encontrar quién quiera suscribir acciones y seguirá España sin adelantar un paso en el largo camino que todavía le falta recorrer.

Pero todo esto no basta, que si bastara, ya se hubiera adelantado más. Es necesario ayudar á esta clase de compañías por otros medios.

Los auxilios á que nos referimos son de dos clases: técnicos y financieros.

Los técnicos se refieren á la modificación de las condiciones exijidas por el Estado á las compañías, para la explotación de sus líneas, viéndose la anomalía de sujetar á mayores restricciones aquellos ferro-carriles que tienen camino propio que otros de los llamados tranvías, por ocupar la vía pública, sean ó no

urbanos; pues miéntras los segundos están bajo la jurisdicción de los ingenieros de las carreteras respectivas y no tienen otra limitación que la velocidad máxima que podrían llevar salvo la condición impuesta de conservación de parte de la carretera en cambio de la facultad que de usarla se les concede, los primeros están sometidos á la ley general de ferro-carriles en todo su rigor y se les impone las mismas trabas, las mismas gabelas, las mismas condiciones de seguridad que á los ferro-carriles de primer orden.

En esta parte, pues, debería modificarse la legislación actual y dejar á las compañías que construyan su propio camino de los considerados como secundarios, sometidos á una ley más en armonía con su naturaleza. Así, por ejemplo, según la ley de policía sobre ferro-carriles, las líneas deben estar cerradas por una y otra parte en toda su extensión; es verdad que no cumplen este requisito las compañías, pero no deja por esto de estar en contra suya la ley cuando ocurre alguna desgracia personal por estar abierta. También se previene á las empresas que pongan barreras en los pasos á nivel, ó puertas donde la línea cruza otros caminos, las cuales se abrirán, dice, sólo al paso de los trenes: esta exijencia no pueden atenderla más que compañías ricas cuyas líneas son de mucha importancia y puedan sufragar estos gastos de vigilancia sin grave detrimento en sus intereses, pero no las propietarias de líneas de poco tráfico cuyos gastos de explotación es indispensable disminuir á toda costa. Hay en apoyo de lo que decimos, además de las exigencias económicas, consideraciones de justicia: una línea, sea del orden que quiera, es una propiedad particular á la cual nadie tiene derecho á penetrar sin prévia autorización de su dueño, y el que penetra, sobre vulnerar un derecho, sabe se introduce voluntariamente en paraje donde corre peligro de verse arrollado por un tren. En los pasos á nivel la cuestión varía un poco, pero no por esto deja de saber el que los cruza, el peligro á que se expone, si lo hace sin premeditación, y siempre será preferible que el que ha de cruzar, sea persona sola ó carro con su conductor, ó pastor con su ganado, que antes de efectuar el cruce atienda por sí mismo si se vé ó se oye algún tren para hacerlo sin peligro, que confiar exclusivamente con la vigilancia ejercida por la empresa misma. Casos hemos visto, especialmente de noche, que los guarda-barreras han sido



impotentes á contener las caballerías de carros cuyos carreteros iban dormidos en ellos, habiendo sido esto la única causa de un siniestro, que se hubiera evitado, aún sin haber guarda, si el carretero hubiera cumplido con su deber guiando las caballerías de la manera debida. Es verdad que en un accidente de esta naturaleza, no sólo corre peligro el que cruza el ferro-carril sino los trenes mismos: si se arrolla un carro, caballerías ó ganado vacuno, puede descarrilar el tren; por esta causa debería ser penado el conductor de carruaje ó de ganado que no hiciera el cruce con todas la precauciones requeridas. Esto al fin y al cabo, no es molestia grande ni perjuicio alguno, ya que no se cruzan ferro-carriles con frecuencia.

El Gobierno cree atender á estas justas consideraciones, dejando á la discreción de las compañías la vigilancia de aquellos pasos que más peligrosos sean, pero esta tolerancia no exime la responsabilidad judicial de aquellas, y esto mismo dá á comprender la necesidad de modificar la ley, sobre todo para los ferro-carriles de poca importancia, cuya circulación de trenes por ser ménos activa en velocidad y en número es ménos peligrosa. Los reglamentos de señales y de circulación de trenes por la vía única deberían simplificarse también y por otra parte, las empresas habrían de saber dar á la línea nada más que la importancia justamente necesaria, haciendo las estaciones reducidas á la mínima expresión y aún suprimiéndolas en ciertos casos, vendiendo los billetes en marcha en otros, haciendo muchos altos, yendo á buscar los establecimientos industriales, agrícolas ó mineros en sus mismos puestos, concediendo desvíos á todo el que lo solicitase mediante condiciones favorables á los particulares y penetrando hasta el interior de las poblaciones, á lo que no deberían oponerse los municipios á quienes se ocupase la vía pública.

Estas observaciones las consideramos del más vital interés, porque sólo dando grandes facilidades al público es como el tráfico prospera, mayormente en los trayectos cortos que en la mayor parte de los casos tienen las líneas que nos ocupan, donde las piernas del rudo campesino hacen una competencia importante al trasporte de viajeros y los carros que llevan y toman los géneros en los mismos domicilios los hacen á los transportes de mercancías.



Los auxilios que por medio de fondos públicos puede otorgarse á las compañías según la ley vigente de 23 de Noviembre de 1877 son:

1.° Ejecutando con ellos obras determinadas.

2.° Entregando á las empresas en ciertos períodos una parte del capital invertido.

3.° Permitiéndolas el aprovechamiento de obras ejecutadas para uso público compatibles con el de los ferro carriles.

4.° Concediendo la exención de los derechos de aduanas al material de construcción y explotación.

Y 5.° Concediendo el derecho de expropiación forzosa inherente á la declaración de utilidad pública; los derechos que cita el capítulo IV, de la indicada ley y que se reducen á la concesión de terrenos del dominio público; el beneficio de vecindad para el aprovechamiento de leñas, pastos y demás de que disfrutan los vecinos de los pueblos, cuyos términos atraviesa la línea para los dependientes y trabajadores y ganados de transporte de las empresas; la facultad de abrir canteras, recojer gravas, y otros materiales; y la exención de los derechos de hipoteca devengàdos por la traslación de dominio de los terrenos adquiridos y de los contratos verificados.

Pero, para tener opción á todos estos beneficios es necesario que las líneas sean de las clasificadas por la ley entre las de servicio general, que según la misma son aquellas destinadas á la explotación pública para el transporte de viajeros y tráfico de mercancías; y si bién además de las comprendidas en el plan general de ferro-carriles, cuya amplitud ha de ser precisamente la de 1m67, entre los carriles, podrán comprenderse en la denominación de ferro-carriles de servicio general, aún cuando no tengan las condiciones técnicas exigidas para aquellos, todas las que así se acuerde incluir en lo sucesivo; hasta ahora no hay ejemplo de que se haya otorgado á las empresas de ferro-carriles de vía estrecha y aún á muchas de vía ancha no comprendidos en dicho plan, subvención alguna, como parte del capital invertido en la construcción.

Se objetará, que no habiéndose todavía construido las líneas de este plan no deben subvencionarse otras consideradas de menor importancia, pero téngase presente que la que se atribuye á las incluidas puede ser discutible; se dirá que no puede emplear-



se la riqueza pública en favorecer empresas particulares; pero téngase en cuenta que la construcción de los ferro-carriles desarrolla la producción del país y aumenta las rentas del Estado no sólo por este mismo aumento de producción, sino por el importe de los impuestos que el Gobierno cobra sobre los transportes sin costarle siquiera el trabajo de recaudarlos, y este impuesto es de tal importancia que siendo en Francia del 10 p. $^0/_0$ equivalió durante el año de 1881, según la *Revue génerale des chemins de fer*, número de Mayo último, al 6 por ciento aproximadamente del capital desembolsado por el Estado, y si á este interés se agrega lo que representan las economías hechas por el mismo, gracias á los servicios que las compañías le prestan, alcanza al 9 p. $^0/_0$ de dicho capital. Y esto, que miéntras en Francia el Estado ha gastado tanto como las empresas particulares, en España las tan cacareadas subvenciones no han alcanzado más que el 26 p. $^0/_0$ de lo gastado por estas.

Otro medio de auxiliar á las empresas en lugar de las subvenciones fijas es el puesto en uso primero en Bélgica y luego en otras naciones, que consiste, en: asegurar á los accionistas un interés fijo al capital desembolsado por las acciones y eso que en Bélgica las tarifas son esencialmente baratas, no habiendo otras en ninguna otra nación que lo sean tanto y producen déficits que el Gobierno no tiene inconveniente en llenar, prefiriendo hacer este sacrificio que perjudicar la producción del país.

Tiene la ventaja este sistema que el Estado no se vé obligado á desembolsar sumas cuantiosas para la construcción de las líneas y le es más fácil atender á los pagos de intereses por cuya razón y teniendo en cuenta el constante mal estado de nuestro Erario, no titubeamos en recomendarlo aquí. De esta manera los capitales que hoy escarmentados se conservan retraidos, no tendrían inconveniente en aventurarse si supieran que podían esperar cuando ménos un 4'50 ó 5 p. $^0/_0$, seguros de que al cabo de pocos años el interés sería de 6 y de 8 p. $^0/_0$. Esto mismo permitiría hacer la emisión de acciones y obligaciones á tipos más ventajosos y el capital social no se vería considerablemente aumentado como ahora se vé, representando un valor que no existe y no ocurrirían las frecuentes interrupciones en la ejecución de las obras á que ahora obliga muchas veces la falta de dinero durante cuyo

tiempo por el reparto de dividendos activos sobre el capital desembolsado se aumenta todavía más, el capital social.

Más ha hecho aún Bélgica: según la ley de 28 de Mayo último, se ha creado una sociedad nacional para atender á la construcción y explotación de los caminos de hierro vecinales; (es decir, de aquellos que ya no tienen más que un interés local); la cual se propone, de acuerdo con los municipios y las provincias, prolongar los ferro-carriles hasta los rincones más pobres del país. A este efecto el Estado ha abierto ya un crédito de dos millones de francos.

Las acciones de estas líneas vecinales serán nominativas y pertenecerán á los Ayuntamientos, á las Diputaciones y al Estado. No se adjudicarán las concesiones hasta que estén suscritas todas las acciones necesarias para asegurar la construcción del camino y el Gobierno, en fin, podrá ayudarles cubriendo hasta la mitad del capital nominal y garantizando un *máximum* de un tercio del importe anual de interés y amortización de obligaciones.

En Francia, por las leyes de Mayo de 1883 todavía se ha hecho más.

A imitación de lo que hizo Mr. Migneret, prefecto del Bajo-Rhin, que construyó por cuenta de aquel departamento y de los municipios la infrastructura de las tres líneas de Alsacia: de Estrasburgo á Barr y Wasseloul, de Hagneneau á Niederbroun y de Schlestadt á Sainte Marie aux Mines, el Estado Francés ofrece á las citadas compañías adquirir el terreno necesario y construirles puentes, alcantarillas, desmontes y terraplenes, es decir, toda la infrastructura también, encargándose éstas de la colocación del material fijo de vía y del material móvil, y de la explotación de las mismas bajo el principio de percibir un tipo fijo como intereses de las acciones que al efecto se emitan y siendo repartible entre estas y el Estado el excedente que resulte despues de cubierto dicho interés.

El procedimiento seguido por Mr. Migneret á que antes nos hemos referido consistía en una interpretación dada á la ley de caminos vecinales de 1836, cuando no se atribuía aún tanta importancia á estos asuntos. En ella se disponía que los departamentos tenían facultades para construir caminos vecinales; aúnque el espíritu de la ley se refería á caminos carreteros,



Mr. Migneret, atendiéndose únicamente á la letra de la misma, demostró, que estos caminos vecinales podrían despues destinarse al servicio de un ferro-carril y entregarse á una Compañía concesionaria que se encargase de la superstructura del mismo, cuidándose de su explotación por su cuenta y riesgo. El medio fué muy ingenioso y útil, sin embargo, le faltaba algo para ser legal y el Gobierno francés, con la previsión que en materia de ferro carriles hay que reconocerle, no ha hecho otra cosa que una legalización de lo que hizo Mr. Migneret.

Por supuesto, que esta intervención tan directa del Estado en los ferro-carriles tiene sus inconvenientes en las imposiciones que hace á las compañías, ya revisando tarifas, ya imponiendo tributos, ó ya exijiendo servicios. Pero, España, como en otra parte dijimos, no es Inglaterra donde las Compañías tienen sus concesiones á perpetuidad, sino que las tienen por 99 años tan sólo, y aquí, sobre las compañías no ser más que usufructuarias de las líneas se les imponen estos gravámenes mismos, reciban ó no subvenciones del Estado, habiéndose dado el caso, tal es el espíritu que en ciertas regiones domina, que se trataba de imponer la condición de subir un coche correo en cada tren del ferro-carril de cremallera de la estación de Monistrol al Monasterio de Monserrat, siendo así que ni las máquinas lo permitirían, puesto que no pueden arrastrar más que un coche, ni los monges necesitan de tanta correspondencia.

Comprendemos perfectamente las razones por las cuales el Estado tenga cierta ingerencia en los ferro-carriles, sea por temor á que estas compañías adquieran una influencia que le sea imposible contrarestar, sea para no legar á las generaciones futuras deberes, que no se hubiesen creado ellas mismas, ó sea que se tema la absorción de fuerzas poderosas de la nación evitando su desarrollo para el cual precisamente fueron creadas. Pero la quiere tener demasiado poderosa convirtiéndolo en un verdadero principio socialista. No obstante, como este proceder se ha generalizado mucho tomando parte activa en la construcción y explotación de los ferro-carriles todos los gobiernos de Europa, excepto el de Inglaterra, no queda otro remedio más que dejarse arrastrar por la corriente miéntras no se llegue al caso aquí también de querer explotar las líneas, pues llenándose tan mal como se llenan los servicios públicos y con la mira constan-

te de crear rentas para el Tesoro se haría mal y no se tendría el desinterés que han demostrado los gobiernos de Bélgica, Alemania y Francia sacrificando las arcas de la nación siempre que lo ha exijido el estado del país ó de las Compañías.

IV. Explotación.

Explotación por el Estado.—La explotación de los ferro-carriles se hace ó bién por compañías particulares, ó bién por el Estado. En España, hasta ahora, afortunadamente no se sigue otro sistema que el primero, pero en muchas otras naciones el Estado explota parte de la red, viéndose el caso de que éste explote, además de las líneas que le son propias, otras pertenecientes á particulares, como sucede en Alemania, Bélgica, Italia, etc., y lo contrario; esto es, que las últimas exploten líneas pertenecientes al Estado, como en el imperio de Austria.

No puede desconocerse la inmensa influencia que los ferro-carriles tienen en la prosperidad de un país, y por esta razón, creemos, y así lo hemos manifestado antes, debe contribuir el Estado, y aún la provincia y los municipios en su construcción, cuando tienen más interés local que general; pero creemos que de ningún modo debe el Estado encargarse nunca de la explotación de ningún ferro-carril, porque sus servicios cuestan siempre muy caros, y en España, además, se llenan muy mal.

Es verdad, que en Bélgica, por ejemplo, y en Alemania, las tarifas de los ferro-carriles del Estado son más baratas que las de otros países cuyas redes son explotadas por particulares, pero debe tenerse en cuenta, por un lado, que la explotación en dichos países es fácil por lo llanos, especialmente en Bélgica, y sobre todo, que dichos Estados llenan el déficit de la explotación con los fondos de la nación, imponiendo un sacrificio á todos para que se aprovechen de él principalmente los que viajan y los expedicionarios de mercancías, si bién indirectamente, en mayor ó menor grado, á todos, alcanza algún beneficio. Dá la medida de lo caro que cuesta al Estado la explotación el hecho de gastarse en ella, en Bélgica, el 68 p. °/₀ de los ingresos, con todo y ser, aquellas líneas, como hemos dicho, fácilmente explotables, miéntras que en España, la Compañía del Norte, supongamos, durante el año 1883 sólo gastó el 39 p. °/₀, y si bién las tarifas



medias de Bélgica fueron 0'046 y las del Norte 0'076 todavía teniendo en cuenta esta diferencia resulta un gasto de

$$\frac{0'046 \times 0'68}{0'076} = 0'41$$

ó sea 41 por ciento; sin contar que si las tarifas fuesen más altas trasportarían ménos y aumentaría la relación.

Podríamos citar un ejemplo de explotación temporal de una línea española, por el Estado, por causas judiciales, durante cuyo período no solamente no se pagaron intereses á los accionistas, sino que llegóse á contraer deudas con algunos proveedores de materiales del ferro-carril, sin hacer reformas, siendo así, que desde el momento que la explotación se volvió á hacer por los mismos accionistas, no sólo se pagaron las deudas contraidas, sino que se pagó el 5 p. % de interés á las acciones, interés que más tarde subió al 6 p. % y llegó hasta el 7 ½ p. %. Basta, no obstante, afirmar, que aparte de lo natural que parece desde luego, el mayor coste de la explotación por el Estado, hoy día, ya todo el mundo lo admite como un hecho completamente comprobado.

Precisa aquí manifestar, que para hacer estas comparaciones se ha de proceder con mucho discernimiento; porque generalmente las líneas de los estados son las principales, y por lo tanto las de mayor tráfico y esto hace que trabajen en mejores condiciones que las de las compañías particulares, cuya falta de tráfico llega á producir intereses negativos. Deben compararse en este caso, líneas completamente semejantes, y lo mejor es hacerlo con una misma línea que haya sido explotada por ambos sistemas, como la que hemos aludido.

Ciertas naciones tienen, sin duda, miras desinteresadas en favor de la riqueza nacional y aún algunas miras estratégicas al querer explotar, su gobierno mismo, las líneas principales; pero nosotros que no necesitamos tener estas últimas, ni tenemos fundados motivos de queja con las actuales compañías explotatadoras, y que, además, tenemos un Estado que no sabe administrar, porque cada día cambia la alta dirección del mismo y porque á los empleados les falta aquella emulación que el buen servicio exije dando lugar á que los pocos servicios que el Estado



llena, tales son: la fabricación del tabaco, el servicio de correos y el de telégrafos, etc., lo haga de tal modo, que en lugar de tabaco fabrique veneno, que las cartas lleguen antes que los telégramas, y las personas y encargos antes que las cartas llevadas al correo con anticipación, ¿cómo es posible esperar un beneficio público, ni siquiera mediano, en el caso de que el Estado se incautase de los ferro-carriles?

Y no nos extrañaría que esto se intentase el día ménos pensado, por haber cuerpos que pueden tener interés en ello; ya hemos visto que por influencia de otro cuerpo, el de telégrafos, el Gobierno se ha incautado de las redes telefónicas por Real decreto de 9 de Agosto del presente año, dando lugar al atropello de intereses creados muy respetables; á la amenaza de hacer inútil un nuevo instrumento de trabajo del cual el público tiene derecho á esperar grandes servicios, por lo caro que será su uso, y por no responder á la necesidad del secreto que todo el mundo exije en los negocios de su casa; y á la protesta fundadísima de gran número de comerciantes, industriales y otras personas de diferentes clases de la sociedad, por más que como dice el preámbulo del decreto *pueda ser una pingüe renta para el Estado.* Pero, si tal sucediese, los Cuerpos Colegisladores deberían rechazar el proyecto con todas sus fuerzas, que ni es justo que la generalidad de los contribuyentes se sacrifiquen en beneficio tan solo de los que emplean los ferro-carriles, ni el Erario español está en situación tan próspera que pueda dedicar parte de sus rentas en enjugar el déficit de una explotación desinteresada; ni debe consentirse que se malversen las fuerzas productivas del país gastando 50 ó 60 por ciento, pudiéndose conseguir igual resultado nada más que con 39 ó 40 p %; ni es posible, en fin, tolerar que tan mal industrial, como es el Estado español, explote la industria de más trascendencia para el país.

Hay todavía otra razón, que no deja de tener importancia para condenar el sistema de explotación por el Estado, cual es, lo difícil que sería, sobre todo en nuestro país y con nuestros empleados, entablar reclamaciones por los remitentes, consignatarios y viajeros, pues en la generalidad de los casos costaría más el importe de las gestiones que el de las averías ó perjuicios sufridos, amen del tiempo que se tardaría en conseguir una resolución. En Bélgica, que es la nación que tomamos como modelo, y donde la



actividad es grande, ya sucede esto, y las indemnizaciones que el Estado paga cuando es probada su justica son tan mezquinas que se tienen por irrisorias.

Inglaterra, el país europeo práctico por excelencia, no ha creido conveniente tampoco que el Estado se mezcle en esta clase de negocios y hasta la intervención del *Board of Trade* (ministerio de comercio) encargado de velar en nombre del Gobierno cerca de las compañías, para que éstas no cometan abusos perjudiciales al público, limita su acción á ciertas medidas represivas cuando son muy justificadas.

Si esta explotación oficial, pues, ha de ser perjudicial en las líneas generales, ¿qué será tratándose de líneas destinadas á comarcas de poco tráfico y poca recaudación kilométrica en las cuáles es indispensable un interés personal por parte de los encargados de la explotación, si no se quiere que esta sea eminentemente ruinosa?

Con lo dicho queda probada la necesidad absoluta de que las líneas españolas y muy especialmente las que nos ocupan, sean explotadas por compañías particulares y nunca por el Estado. Pero, si el Gobierno quisiera verdaderamente favorecer los intereses generales del país por medio de los ferro-carriles tiene un medio sencillísimo: renuncie en beneficio del público el 15 % que cobra sobre las tarifas de viajeros y dispense á las compañías de tantos tributos y gabelas directas é indirectas con que las agobía y no quiera que los ferro-carriles sean uno de los pingües recursos del Estado con lo cual se pondrá en situación intermedia entre sacrificar el Erario en favor del público que se sirve de los ferro-carriles y el perjudicar á este mismo público sacando una renta de ellos, y en fin, garantice como es su deber los intereses de las compañías contra los golpes de mano tan frecuentes en España siempre que se levanta en armas un partido político, que por algo ha de tener un Gobierno y un ejército numeroso.

Organización general de las compañías.—Están divididos los pareceres sobre la conveniencia de que las líneas secundarias las exploten las grandes compañías ó las pequeñas; sin embargo, en la explotación de un ferro-carril, sea de la clase que quiera, siempre hay que tener en cuenta una multitud de elementos que se combinan y completan entre sí.



En primer lugar, hay que cuidar de la conservación de la vía y de todas las obras de tierra y de fábrica; en segundo lugar, se ha de pensar en la organización y arrastre de los trenes, en la conservación del material móvil de los mismos, y en su aprovisionamiento; en tercer lugar debe fijarse el servicio del personal de dichos trenes y sus itinerarios, y el servicio de las estaciones; y finalmente, se han de agrupar en una sola estas distintas divisiones, para darles unidad en la manera de operar.

Cada una de estas divisiones, constituye en las grandes compañías, una *división* propiamente dicha, recibiendo el nombre de Vía y Obras la primera, de Material y Tracción la segunda, de Explotación malamente llamada la tercera, y decimos malamente, porque esta denominación, gramaticalmente hablando, lo comprende todo, y la Dirección á la última que hemos enumerado y que por su objeto debe ser la primera. Estas divisiones comprenden á su vez subdivisiones ó servicios como los de suministros, movimiento, contabilidad, reclamaciones, etc., que en las redes de mucha importancia llegan á veces á constituir nuevas *divisiones*.

Desde luego, se comprenderá que los ferro-carriles que forman el objeto de este modesto estudio, no han de constituir redes importantes, sino más bien ramales, que rara vez pasarán de 100 kilómetros de longitud. Tanto por esta razón como por ser de índole puramente económica, han de tener una organización muy distinta de la mencionada, siempre y cuando pertenezcan á pequeñas compañías que sólo exploten dichos ramales. Entónces, todas estas divisiones, que en compañías de ménos de 1.000 kilómetros toman el más modesto nombre de servicios, se reducen, en las económicas á un cortísimo número: uno sólo es lo mejor, poniéndose enfrente de él un ingeniero que entienda á la vez en lo relativo á los asuntos técnicos y en los comerciales. Algunas compañías, puramente mercantiles, han creido que los ingenieros habían de atender preferentemente á la perfecta conservación y armónica marcha de todos los elementos de la explotación, que á la satisfacción de los deseos de los accionistas, que es: sobre todo el reparto de buenos dividendos, y por esta razón han preferido poner al frente del ferro-carril personas exclusivamente mercantiles. En las grandes compañías, donde además de la dirección son necesarios ingenieros destinados á

las múltiples cuestiones técnicas que de contínuo se originan, creemos que para los altos asuntos financieros sirva perfectamente, y á veces mejor, una persona que careciendo de conocimientos profesionales esté muy poseida de aquéllos, ya que le es fácil asesorarse de los ingenieros, siempre que lo tenga por conveniente, y no hay que decir, que si se consigue encontrar una que reuna á sus conocimientos detallados sobre los servicios, conocimientos financieros ó mercantiles y sobre todo claro talento natural, como ha sucedido en algunas compañías, pueden ser altamente provechosos sus servicios; pero, cuando la compañía por su pequeñez y espíritu económico no permite vários empleados, lo mejor es que la dirección la tenga un ingeniero que se procurará reuna á sus conocimientos técnicos aquellos mercantiles que una explotación industrial de este género requiere.

En un ramal cuya longitud no sea mayor de la indicada, el ingeniero director puede y debe asumir la jefatura de vía y obras, material y tracción, movimiento ó explotación propiamente dicha, teniendo únicamente uno ó dos ayudantes con sueldo de unas 4.000 pesetas.

No queremos particularizar nada; pero, sin embargo, debemos decir, que hemos visto una compañía cuya vía aúnque doble no llega á cinco kilómetros, y que por tener curvas de corto radio, fuertes rampas, desvíos cortos y marchar sus trenes á pequeña velocidad debe explotarse por un sistema esencialmente económico, mayormente careciendo de una clase de tráfico, y sin embargo, siempre ha tenido directores muy apreciables, pero sin conocimientos técnicos y un ingeniero mal retribuido. ¿No hubiera sido mucho mejor que el director hubiese sido un ingeniero y suprimir la plaza de éste? No desconocemos la conveniencia y aún la necesidad, repetimos, de que la persona que esté al frente de una de estas explotaciones, tenga espíritu mercantil, pero hay que convenir, que: *este no es propiedad exclusiva de las personas que carecen de conocimientos profesionales y que es más fácil adquirir los primeros que los segundos.*

Dijimos antes, que no hay unidad de pareceres sobre si es más conveniente que exploten los ramales afluentes de las grandes líneas las compañías propietarias de éstas ó pequeñas compañías propietarias de aquellas, y no hay duda que ambos sistemas pueden ser ventajosos según los casos: cuando el ferro-carril



secundario es de vía ancha es muy ventajoso poder hacer el tráfico con el material móvil de la compañía principal á cuya línea afluye, y en este caso podrá ser más ventajoso el primer sistema que el segundo, y aún podrá serlo siendo de distinto calibre la vía si los agentes comerciales é inspectores de explotación son personas de buén criterio, que sepan hacerse cargo de las necesidades de la comarca. Ahora, cuando la pequeña línea ha sido construida con capitales de la misma localidad, logrando interesar á la gente del país, puede ser muy ventajosa una dirección especial á la cual, como dice M. Jacqmin, puedan exponer los interesados las quejas ú observaciones que personalmente hagan ó su propio interés les sugiera.

Personal subalterno. — Sea cual fuere la alta organización de una compañía, la del personal inferior no puede experimentar grandes diferencias. Siempre deberá haber brigadas destinadas á la conservación de la vía y de las obras, maquinistas y fogoneros que lleven las máquinas, jefes de estación y mozos para atender al público y expedir y recibir los trenes, y conductores, guardafrenos, mozos de trenes, etc., que cooperen con el maquinista y fogonero á la conducción de los convoyes, á no ser que se trate de explotaciones tan económicas, efecto de la escasez del tráfico de la línea, que exijan aún, la supresión de jefes de estación y de tren, mozos, etc., en muchos trayectos.

En cuanto á las relaciones mútuas del personal subalterno hay que distinguir dos sistemas; el francés que tiende siempre á dar independencia completa á los servicios distintos no dependiendo más que de los jefes de ellos los empleados de los mismos, rindiendo el más ferviente culto á la ley de la división del trabajo, y el sistema inglés, que prescindiendo, hasta cierto punto de este principio, los empleados que primero llegan son los que prestan los servicios necesarios para auxiliar los trenes, despejar la vía, etcétera, con la única mira constantemente de que los transportes, sean de la clase que quieran, estén por el camino el menor tiempo posible.

La amalgama, permítasenos la frase, que hemos preconizado en los servicios de las pequeñas compañías, dá á comprender la conveniencia del sistema inglés rechazando estas preocupaciones de división de trabajo, que si en las grandes líneas y en otras



industrias pueden ser de inmensos beneficios, en este caso ocasionan muchas veces perjuicios, debiendo tener presente todos los empleados, el lema de: servir al público con toda rapidez y seguridad y con el menor gasto posible.

Las brigadas de la vía bajo el punto de vista de una atenta vigilancia sobre el estado de la misma, es preferible que consten de menor número de hombres y sean más frecuentes á que sean de muchos obreros teniendo á su cargo mucha longitud de vía. Sin embargo, no pueden reducirse á ménos de cuatro hombres en las vías anchas y de tres en las estrechas, de lo contrario, no podrían manejar los carriles, ni podrían utilizar las vagonetas tan indispensables para el transporte de materiales, y para la limpia de los desmontes, encargándoles una longitud de vía de 6 á 10 kilómetros según lo accidentado del terreno, y sobre todo según la naturaleza de los desmontes. Estos son los que en muchos casos dan más que hacer que la vía misma, y no debe olvidarse, que la conservación de ésta depende de la limpieza de aquellos.

En vías anchas, de tráfico ordinario, que tengan desmontes de taludes poco suaves y tierras fácilmente disgregables, no debe darse más de 6 kilómetros á una brigada de 4 obreros y un capataz si no se quiere que el importe del personal auxiliar sea al fin del año tan subido como el del personal fijo. Si por el contrario los desmontes son escasos, pueden darse perfectamente á una de estas cuadrillas 8 ó 9 y hasta 10 kilómetros. El estado de la vía, esto es: la edad de los carriles, sobre todo los de hierro, la clase del balasto, y el número de traviesas malas, así como el trazado horizontal y el vertical, pueden tener también grande influencia en la facilidad ó dificultad de la conservación, y ninguna de estas particularidades debe olvidarse al hacer la asignación de los trozos de cada brigada.

En vías estrechas se puede reducir á tres el número de agentes de una cuadrilla, según hemos indicado, pero una brigada tan pequeña, no obstante, es poco recomendable, porque encontrará grandes dificultades en el cumplimiento de los reglamentos de señales que exigen cubrir la vía por cada extremo de donde se trabaja interceptándola, y obligan muchas veces á que un hombre sostenga con la mano el banderín ó farol de señales de manera, que para cambiar un carril, por ejemplo, ó para trans-



portar una vagoneta de tierras ó habría que infringir el reglamento de señales, principio inadmisible de todo punto, ó siempre que se debiera hacer un trabajo de estos deberían reunirse dos brigadas, y como en una vía vieja de hierro es trabajo de todos los días, esto equivaldría evidentemente á doblar el número de hombres de cada brigada doblando la longitud de vía confiada á su cargo. Esta prescripción reglamentaria debería modificarse, sobre todo para las vías económicas, porque el dejar fijado un banderín ó farol de señales no es tan dado á peligros como se pretende, ya que se pueden atar en un poste telegráfico ó en un pequeño poste portátil *ad hoc*, con su pié, y se pueden colocar petardos sobre los carriles, que por sí solos son la señal de parada más eficaz.

Vigilancia de la vía.—Para éste y otros fines podría emplearse con mucho éxito y economía la electricidad, tendiendo un alambre todo á lo largo de la línea en trozos de 100 metros independientes y accesibles que se pudiesen poner en comunicación fácilmente unos con otros en un trayecto determinado, por medio de puentes ó pequeños pedazos de alambre, y una pila portátil que sirviera para hacer sonar un timbre próximo á la brigada desde el momento que la señal de parada dejase de presentarse al paso de los trenes.

Las barreras que se juzguen indispensables, deberían cerrarse también por la acción de una corriente eléctrica, como se ha hecho ya en algunos puntos en estos últimos tiempos, poniendo un pedal al lado del carril, que se mueva por las mismas pestañas de las ruedas al aproximarse el tren y haga las veces de conmutador, y aún opinamos que en todo país que se llame civilizado debería bastar un timbre eléctrico puesto en el paso con un rótulo que indicase que aquel sonido daba á entender la aproximación de un tren para que los transeuntes se pudiesen librar de él. Esto, si bien no cumpliría todavía con nuestro criterio del abandono absoluto de los pasos á nivel al cuidado de los mismos transeuntes, excepción hecha de los verdaderamente importantes correspondientes á carreteras generales ó calles de mucho tránsito, cuando ménos representaría ya una economía respetable.

Para la conservación de los desmontes debe tenerse gran cuida-



do en que las cunetas de coronación y de caja de los mismos estén limpios al principio de cada época del año en que son frecuentes las lluvias mayormente á la entrada del otoño, y los capataces y sobrestantes deben examinar con mucha frecuencia y detención si en el talud de algun desmonte ó en las laderas contiguas superiores hay piedras que amenacen desprenderse, ó si se presentan grietas, para hacer caer ó apear, á aquellas según la importancia que tengan, ó recortar los taludes si se observa el segundo defecto. Pero, además de esta vigilancia constante y ordinaria, en tiempo de lluvias hay que repartir el personal de las brigadas por los desmontes peligrosos á fin de observar si hay algun desprendimiento, y cuando sea preciso recortar los taludes debe echarse mano de brigadas volantes auxiliares que al efecto deben formarse.

También conviene organizar servicios de vigilancia cuando los trenes son algo frecuentes; vigilancia que se ejercerá de día ó de noche según tengan lugar de día ó de noche, también, los trenes de viajeros Esta vigilancia se lleva á cabo por los guardavías que muchas veces tienen á su cargo el trayecto de una brigada y otras el espacio que media entre dos estaciones consecutivas fijándoles de antemano, por una consigna especial, el itinerario según el cual tengan bien determinados los puntos dónde deberán encontrar los trenes, puntos que se procurará sean los más peligrosos de la vía, tales como, pasos á nivel, puentes, desmontes y túneles, pudiéndose de esta manera comprobar yendo en un tren y examinando si efectivamente dicho tren los encuentra en los sitios designados. Cuando el servicio de guarda-vías es de noche, es más difícil esta comprobación; sin embargo, puede hacerse ó bién de una manera análoga á la indicada ó por medio de libretas de presencia que se hallen en poder de los jefes de estación, y en presencia de los cuales deberán firmarlas señalando la hora en que lo hagan.

A un guarda-vía se le puede encargar la vigilancia de 10 kilómetros de vía que deberá recorrer dos veces al día; pero, si la circulación de trenes es muy escasa bastará que la recorra una sola vez y entónces se le podrá confiar una longitud doble y aún podrá utilizarse el tren para uno de los recorridos. Al recorrer su trozo no deberán olvidar los objetos de señales, los reglamentos y una llave de boca para los tornillos de brida, que se hará de



forma especial para hacer las veces de martillo. El guarda dará diariamente aviso al capataz de cuanto observe digno de llamar la atención, tomará las primeras disposiciones para la reparación de los desperfectos, y sobre todo, hará las señales que las circunstancias exijan; y como quiera que al correr de la pluma se nos han ido todos estos detalles que se salen del objeto de este trabajo, dejamos este asunto sin profundizarlo más, añadiendo solamente que esta misma vigilancia de los guarda-vías será casi supérflua en los ferro-carriles económicos, por cuya causa solo deberá establecerse en casos muy especiales, supliéndola suficientemente el recorrido que el capataz ó uno de los peones puede hacer diariamente, para examinar si en el trozo de su cargo ocurre alguna novedad.

Personal de estaciones y trenes.—En la mayor parte de las estaciones, bastará un jefe y un mozo guarda agujas, y solo en las importantes serán necesarios factores y telegrafistas, y entendemos por tales aquellas que lleguen á hacer unas cincuenta expediciones diarias. En los apeaderos y apartaderos bastará un solo agente ó ninguno. Una de las reformas que más simplificarán el trabajo de los agentes de las estaciones será el uso del teléfono en lugar de los telégrafos Morse y de cuadrante, ya que, especialmente este último, exigen mucho tiempo para la transmisión de los telégramas y este ahorro de trabajo les dejará mucho tiempo disponible para otras atenciones. Otra, es el acoplamiento de las palancas de maniobra de los discos de entrada y salida y hasta la aplicación á las estaciones de todas clases, de los cerrojos y enclavamientos Saxby, hoy día circunscritos á las estaciones de mucho tráfico, así como la buena y meditada combinación del material fijo adoptado en las estaciones.

El personal de los trenes es el más difícil de reducir; sin embargo, algunas veces podrá suplirse el fogonero por un chico jóven y los guarda frenos por la adopción de los frenos contínuos actuados desde la máquina á voluntad del maquinista, como el Westinghouse, el Carpenter, el Wenger, etc., según ya dijimos en el primer capítulo.

La intervención de billetes se podrá hacer por el mismo conductor y reducir así á tres el número de agentes de un tren de regular número de vehículos, agregando, empero, para los de de-



talle el número de mozos de tren que las expediciones y las paradas de los trenes exijan, partiendo siempre del principio de ser preferible que los agentes indispensables vayan en el tren á que haya en las estaciones mayor número del que la satisfación de las demás atenciones exijan.

Material de los trenes.—El asunto cuyo título encabeza este párrafo sería de los más extensos tratado con alguna detención, dando materia suficiente para llenar varios volúmenes; pero fuerza es que renunciemos á molestar á nuestros lectores con tales detalles, concretándonos como en la mayor parte de las materias á tratarla de una manera general.

Ya indicamos en otra parte, que en cuanto al material móvil de los trenes que circulan por ramales de vía ancha es lo mejor que sea igual al de las líneas principales con las que estén empalmados, por más que la disposición del material español no reuna aquellas ventajas que de la mayor amplitud de la vía puede sacarse. Y claro está que á dichos ramales podrán dedicarse aquellas máquinas y coches de peor aspecto y más gastados, en razón del menor uso que tendrán del que debieran tener si trabajaran en la línea principal.

Para los ramales independientes, sean del calibre que quieran, al escojer el material de viajeros nos hallaremos, aparte de ciertos detalles más ó ménos importantes, con tres tipos diferentes de coches que escojer: el material americano, largo y análogo al que vemos en el ferro-carril de Villanueva con dos *bogies* extremos; el material corto, ordinario con puertas laterales y el corto también, con pasadizo de comunicación.

Los primeros, en nuestros ferro-carriles económicos deben desecharse, por ser penosa su maniobra á brazo, por dificultar el uso de placas y carros travers ó trasportadores, y por exigir, muchas veces, un grande exceso de peso muerto á transportar. Es indudable que los cortos con pasadizo de comunicación son los que mejor satisfarán á todas las necesidades teniendo, además, la ventaja de hacer la intervención de billetes sumamente fácil. Así lo reconocen todas las compañías nuevas que hoy día casi no quieren ningun otro tipo, y el público lo agradece, pues les dá una marcada preferencia. Algunos, modernamente, han creido que había ventaja en sustituir el pasillo central por un



paso lateral que sirva al propio tiempo de balcón, con la mira de aprovechar de un modo ó de otro el espacio ocupado por este pa sillo; pero la verdad es que en caso de hacer mal tiempo se apro vechará ménos todavía que en el interior.

Para la economía del espacio son preferibles los coches de puertas laterales, ya que de este modo no se pierde el ocupado por dicho pasadizo; si éste fuese exterior los bancos deberían continuar transversales á la vía, pero si el pasadizo es interior tendrá ventaja la adopción de bancos transversales en vías de anchos mayores de $0^m,80$; será indiferente que tengan esta posición ó sean longitudinales en vías de este último ancho; y será preferible que ocupen esta segunda posición en vías estrechas.

Téngase en cuenta, que para estas afirmaciones partimos del principio muy común de dar á la caja de los coches doble ancho del ancho de la vía, y una longitud cuádrupla del mismo. De modo, que para las vías de un metro, suponemos coches de dos metros de ancho por cuatro de longitud, los cuales permiten tres compartimientos transversales que á razón de cincuenta centímetros de anchura por asiento, término medio, permiten ocho asientos por departamento ó veinticuatro en totalidad; mientras que la existencia de un pasillo longitudinal hará perder un asiento por banco ó sean 6 asientos, quedando el número de los del coche reducido á diez y ocho. Si se pusieran dos bancos en sentido longitudinal con el pasillo entre ellos solo cabrían, á cincuenta centímetros también por persona, diez y seis asientos en lugar de diez y ocho.

En la vía ordinaria española no se siguen estas proporciones, pues ya dijimos que la anchura de la caja no es proporcional al mayor ancho de la vía, sino algo menor, en razón de haber querido darles mayor estabilidad en perjuicio de la economía, y en los coches de las tranvías aún se nota más este defecto. Sin embargo, como en estos últimos su ancho es aún algo mayor de dos metros, es ventajoso el empleo de bancos transversales como tienen los coches de las tranvías de Viena, en las cuales hay tres asientos, dos á un lado y uno á otro, con el pasillo entre ambas partes, y no hay que decir si lo serán en los coches de ferrocarriles ordinarios españoles, que tienen $2^m,80$ de ancho, y $6^m,50$ de largo próximamente.

En cuanto á la separación de los ejes de las ruedas no conviene



que sea mayor del doble del ancho de la vía y de aquí la proporción del cuádruplo para la longitud de los coches, que no conviene esceder dada la anterior, para que no basculen, y de aquí también, que cuando por algún motivo es necesario el uso de coches norte-americanos es preciso emplear tres ejes, como en los primeros ó aumentar la separación de los mismos poniéndoles hacia los extremos del vehículo, como en los segundos, lo cual exije, de una parte armar los largueros del vehículo para que resistan siendo de tanta longitud sin apoyos intermedios, y hacer giratorio al rededor de un eje vertical cada eje del vehículo dando lugar á los *bogies* ó *trucks* para que la giración pueda tener lugar sin perjuicio de la estabilidad, al sistema Cleminson y á otros. La separación de los ejes, empero, puede reducirse sin incoveniente, á los 0'85 del ancho de la vía.

Los coches de imperial, para los ferro-carriles, tienen el inconveniente de exigir mayor sección á los tuneles y á los puentes de paso superior y hacen perder tiempo en las paradas por la mayor dificultad de subir y apearse; por esto, sólo se podrán recomendar en casos muy especiales; como por ejemplo: cuando los andenes de las estaciones son muy cortos y no hay posibilidad de prolongarlos. En las tranvías de fuerza animal, tampoco se podrán recomendar casi nunca, porque á estas compañías les interesa hacer muchas expediciones y muy frecuentes empleando coches pequeños que necesiten muy pocas caballerías: una sola si es posible.

Las mismas proporciones generales recomendadas para los coches de viajeros debemos señalar para los vagones de mercancías, y con respecto á la forma de éstos, se pueden adoptar los mismos tipos de los de vía normal con la adición de vagones especiales para el trasbordo de carbon de piedra ú otros minerales en las estaciones de empalme de vías estrechas con vías anchas, debiendo tener los de las primeras un movimiento de báscula hacia uno de los lados si la vía estrecha de trasbordo está al lado de la ancha y más alta que ella, ó cuyo fondo se pueda fácilmente abrir si está la primera encima de la segunda y sostenida por columnas, que es la disposición mejor.

Los bastidores de los coches y vagones conviene que sean de hierro, de sección doble T los largueros y de sección en U los transversales. Los muelles nunca se emplearán de goma elásti-



ca, porque se endurecen, sino de acero; los de suspensión se harán de ballesta y los de los topes de hélice. Las llantas de las ruedas se harán de acero y para las ruedas mismas, aún no se sabe qué materia es mejor, si se atiende á la vez á la seguridad y á la economía.

Con respecto á las máquinas, nada tenemos que añadir á lo expuesto ya en el artículo IV del capítulo primero; donde resolvimos la cuestión de la manera general que correspondía á un trabajo de esta índole, y sin recomendar sistemas especiales que parece más propio de un prospecto que de nuestro humilde estudio.

Muchas casas constructoras hay en el mundo, en Europa y aún en España mismo, capaces de dar satisfacción á todas las necesidades con los sistemas que construyen.

Pero, no podemos dejar sin mencionar, para casos especiales, los coches de vapor y las máquinas del ingeniero italiano Sr. Cotreau, para decir de los primeros que si bién para el servicio de tranvías de viajeros pueden servir, salvo la incomodidad del calor que dan, en distancias cortas como pueden hacerlo los coches de aire comprimido, los de gas y los eléctricos, no cumplen con las necesidades de un ferro-carril, y de las segundas, que su idea de reunir dos juegos de ruedas en una misma máquina para servirse de uno ó de otro según la rampa, adoptándoles á dos vías una ancha y otra estrecha, puesta la segunda al interior de la primera, es una idea que puede fructificar, así como creemos que no fructificará y efectivamente con ser más antigua aún no ha fructificado, la de Mr. Larmanjat de adoptar un solo carril en las carreteras para que sirva de guía á una rueda central, mientras otras laterales ruedan por encima del afirmado para sustituir con ventaja las locomotoras de carreteras que bien ó mal han hecho algunos progresos.

Por ahora, lo repetimos, como dijimos en el citado capítulo, lo mejor es no salirse de los sistemas comunes conocidos, hasta que la práctica sancione los progresos realizados.

Tarifas.—Si un ferro-carril fuese rigurosamente considerado como otra industria cualquiera, las tarifas para el trasporte de viajeros y de mercancías representarían extrictamente: el gasto ocasionado por los distintos servicios haciendo una buena con-



servación de la vía y del material, el importe de los impuestos y demás gravámenes del Estado, la amortización del capital empleado, en la construcción del ferro-carril al fin de lo que haya de durar la concesión, y el interés del capital social. Pero, hay muchas razones que no permiten proceder con esta lógica: en primer lugar, hay gastos de los mencionados que son constantes, como: la amortización, el interés del capital y ciertos gastos generales, y los restantes son variables con la cantidad y naturaleza del transporte, por cuya razón los primeros existirán siempre, sea cual fuere el tráfico del ferro-carril, y si éste es muy escaso, por mucho que se disminuyan los segundos ó bien deberán ser muy altas las tarifas ó la compañía deberá perder dinero en la explotación; y como el elevar aquellas indefinidamente llevaría consigo la imposibilidad del transporte disminuyendo más todavía el tráfico por esta causa, resulta, que por lógico que parezca á primera vista el sistema no sea posible seguirlo. Además, las subvenciones que reciben las compañías representan un sacrificio que hace el Estado, ó la provincia ó los municipios y que no se lo imponen sin ciertas condiciones, y aún éstas se exijen al dar una concesión aunque no se conceda subvención alguna. De aquí la conveniencia de sacar á pública subasta dichas concesiones, para otorgarla á quien ofrezca tarifas más baratas, y de aquí también, la necesidad de preveer los precios que exigirá la explotación con riesgo, muy á menudo realizado, de sufrir errores de consideración que obliguen á andar muy mal á las compañías durante muchos años y á quebrar algunas veces.

Hay que añadir también, que cuando el que obtiene una concesión lo hace con la sola mira de venderla después, sin quererse meter en la construcción y mucho menos en la explotación de la línea, no le importa nada ofrecer tarifas muy bajas que él no ha de poner en práctica, pues lo que quiere á toda costa es conseguir la concesión. Y hay que tener presente además, que ya sea por no haber hecho verdaderos presupuestos de la línea, para presentar las cosas de manera que seduzcan á los incautos, ó ya porque el tiempo que debían durar las obras se haya multiplicado por falta de previsión ó por falta de actividad, debiéndose pagar muchos más dividendos á los accionistas du-



rante la construcción, se aumenta el capital social y caen por tierra los cálculos de tarifas hechos préviamente.

Si hemos de decir todo lo que pasa en esta materia, añadiremos, que la mayor parte de las concesiones obtenidas, se han pedido sin estudiar racionalmente las tarifas, guiándose los concesionarios por las de otros ferro-carriles, y sólo como aparente justificación, hacen, á lo sumo, algunos cálculos basados en datos estadísticos groseros, que se hallan lejísimos de la verdad.

Estas tarifas de concesión son las conocidas con el nombre de *tarifas legales* y lo dicho basta para dar á comprender que ni todos los ferro-carriles pueden trabajar con iguales tarifas, ni á todas las mercancías se les podrá aplicar un mismo tipo, por cuya razón se establecen tres ó cuatro ó más clases de mercaderías, cada una con su tipo correspondiente, del mismo modo que se fijan tres ó cuatro clases para las de viajeros.

El trabajar en malas condiciones ó sin los elementos necesarios hace salir más caros los transportes, por lo que los ferro-carriles económicos estudiados con escaso conocimiento de la materia, dan lugar á tarifas caras y no debe dejarse de vista nunca ninguno de los extremos de tan complicado problema prefiriendo un ferro-carril de vía estrecha completo en sus detalles, si puede bastar al tráfico supuesto, que uno ancho incompleto ó con rampas y curvas proporcionalmente más perjudiciales á la economía de la explotación. Algunos creen que á ferroca-rriles económicos corresponden tarifas caras, y esto, en el sentido absoluto de la palabra no es cierto. Es verdad que en una región pobre á causa de su poco tráfico saldrá cara la explotación, como antes dijimos y es verdad también que los ferro-carriles baratos hay que establecerlos en regiones pobres; pero, de esto no tiene la culpa el ferro-carril, que la tiene la comarca, y si sale cara con un ferro-carril económico dígasenos ¿qué sucedería con un ferro-carril de mucho coste que haya exigido un capital excesivo? Claro está que ha de costar más caro conducir un tren entre curvas de poco radio y fuertes rampas, pero entre ambos extremos existe el término medio que se ha de saber hallar.

Los gastos variables aumentan en proporción menor que el aumento del tráfico, hasta cierto límite, que varía con el ancho del ferro-carril y que representá el máximo de efecto útil del



mismo, después del cual por no trabajar en tan buenas condiciones este efecto útil disminuye. Cuando el tráfico es escasísimo, los gastos generales y los variables reducidos á su *minimum* son casi iguales y á veces mayores que la recaudación y entonces el ferro-carril no sólo no explota con un tanto por ciento elevadísimo con relación á la recaudación kilométrica, sino que puede perder dinero en ella sin dar dividendos á los accionistas, ni pagar los intereses de las obligaciones, y estos últimos quebrantos serán mayores cuanto más grande sea el coste del ferro-carril; luego, un ferro-carril estrecho de bién poco coste es el que debe responder mejor á semejante tráfico. Para grandes tráficos como los que llegan á 25,000 pesetas por kilómetro, un ferro-carril estrecho será insuficiente y requerirá uno ordinario con instalaciones completas, trenes de más tonelaje y de más fácil arrastre.

No queremos negar con lo dicho, que un ferro-carril económico no debe tener las tarifas más elevadas que las de las grandes líneas; pero, esto que es un hecho de verdad y lógico no se ha de atribuir á la máquina de trabajo, digámoslo así, sino á la pobreza de la comarca que sirve, que no permite sacar de ella todo el partido posible. Hay más aún, en los pequeños recorridos los gastos generales pesan más sobre las *unidades de tráfico*, que en los grandes, y como los que nos ocupan suponen pequeños recorridos, este es otro motivo para que sean elevadas y lo es también la dificultad que en muchos casos hay de que les puedan hacer competencia ni los carros, ó canales ú otras compañías con líneas más ó menos *paralelas*, y hacen bien de sacar provecho del capital expuesto en el negocio, no escediéndose de los límites convenientes para el fomento de la riqueza del país que sirven, cosa que las mismas compañías tienen interés en evitar para que el tráfico no se reduzca y pierdan en vez de ganar, como reconoció en 1873 en una junta general de accionistas M. Forbes, presidente del Consejo de Administración del «Metropolitan District Railway», después de una alza de tarifas que habían llevado á cabo con desastroso éxito, viéndose obligados á rebajarlas sin que fuera causa de ello la competencia de otros ferro-carriles.

El coste de cada kilómetro recorrido por los trenes ó del *tren-kilómetro*, que así se llama, no puede servir de guía como algu-



nos piensan tomando valores análogos á los de otros ferro-carriles á no ser que los ferro-carriles que se comparen tengan una analogía completa, caso difícil de presentarse; porque dicho coste es muy variable, habiendo sido por término medio en Francia en el año de 1882, 2'75 francos; en Bélgica 1'89 francos en el 1883; en una compañía importante de España en el mismo año 3'27 pesetas; en el ferro-carril minero de vía estrecha de Galdames citado en el cuadro del principio del presente capítulo 3'63; en la línea de Billimena á Larne (Inglaterra), de 1^{m} '07 y rampas de 2'4 por 100, 1'41 pesetas; en el Festiniog, poco más de una peseta; y una peseta justa en el Liestal ó Waldenburg (Suiza), que tiene 14 kilómetros de longitud, 0^{m} '75 de ancho de vía, aprovecha mucha parte de carretera, las curvas son de más de 60 metros, los carriles de acero de 15 kilógramos, y las pendientes máximas de $2^{1}/_{2}$ por ciento. De modo, que tanto de estos como de muchos datos y memorias de compañías examinadas parece deducirse que el coste mínimo que se puede pedir es por ahora, de una peseta por tren kilómetro, y este fin debe tratar de conseguir el que esté al frente de un ferro-carril de poco coste. Empero, hemos dicho ya, que esta unidad es demasiado abstracta, pues efectivamente, un tren puede ser de un número muy variable de toneladas y componerse de muy distinto número de vehículos. Por esta razón lo que debería conocerse con exactitud sería más bien el coste del *viajero-kilómetro* y de la *tonelada-kilómetro*, datos muy difíciles de obtener y que algunos ingenieros evalúan de un modo aproximado en 2'3 céntimos de peseta para uno y para otro, y aún éste no puede ser fijo.

Los precios de transportes por los antiguos medios empleados en la comarca de que se trate, antes de la construcción del ferro-carril, pueden servir de punto de partida para las tarifas á exigir, pues bién se pueden pagar 8 ó 10 céntimos de peseta por kilómetro que se pagaba por un viaje hecho en diligencia, yendo en ferro-carril, que ofrece más comodidades, mayor seguridad, más regularidad y más grande rapidez.

Hé aqui ahora un pequeño cuadro de las tarifas medias pagadas en varios países y aún en algunas compañías, que pueden servir de comparación.



NACIONES	LÍNEAS	AÑO	TARIFAS	
			Por viajero. — Kilómetro	Por tonelada. — Kilómetro
Suiza	Red total	1882	De 0'052 ptas. á 0,102 ptas.	De 0'108 ptas. á 0'544 ptas.
Italia	Del Estado	1882	De 0'046 » á 0'053 »	0'069 »
	De las compañías	1882	De 0'030 » á 0'054 »	De 0'060 » á 0'120 »
Bélgica	Del Estado	1881	0'036 »	0'046 »
	Red total	1881	0'039 »	0'052 »
Dinamarca	Del Estado	1880	0'046 »	0'076 »
	De las compañías	1880	0'042 »	0'109 »
Suecia	Red total	1878	De 0'053 » á 0'063 »	De 0'067 » á 0,191 »
Inglaterra	Red de las compañías	1881	0'1035 »	0'080 »
	El Festiniog (vía de 0m60)	1880	0'070 »	0'154 »
Alemania	Red general	1882	0'0437 »	0'0547 »
Francia	Id.	1882	0'0494 »	0'058 »
Austria	Id.	1881	0'056 »	0'074 »
España	Norte de España	1883	0'058 »	0'093 »
	Madrid, Zaragoza y Alicante	1882	0'055 »	0'0584 »
	Tarragona, Barcelona y Francia	1882	0'060 »	0'086 »
	Mallorca (vía de de 0m966)	1883	0'038 »	0'083 »
	Bilbao (compañías mineras)	1882		0'275 »

No siendo igual el *costo* del transporte en todas las líneas por ser diferentes sus condiciones técnicas, ni siendo igual en una misma línea el costo que exigen todas las mercaderías ya que suforma, su volumen, sus alteraciones, etc., puede influir mucho en este costo, dicho se está, que es imposible la uniformidad de tarifas que muchos han pretendido.

Y teniendo en cuenta que las compañías deben procurar atraer hácia sí todos los transportes que se efectúen de otra manera, proporcionando la *tasa* con el valor propio de la mercadería; de aquí, que además de las tarifas legales y generales, haya una gran variedad de ellas, como las *especiales*, las *diferenciales*, de *reexpedición*, de *tránsito*, *combinadas*, *internacionales*, etc., con las cuales se hacen muchas veces rebajas de grande consideración con respecto á las tarifas legales.

En los ferro-carriles de poco coste, rarísima vez serán aplicables las tarifas internacionales, pero las demás, en pequeño ó en grande, sí, inclusas, y sobre todo, las diferenciales que tanto han dado que hablar á los que se han visto perjudicados alguna vez por ellas y que son, sin embargo, una de las armas más poderosas con que cuentan las compañías para atraer el tráfico y que es indispensable conservar. En apoyo de lo que decimos, no hay más que tener presente, que estas líneas han de alimentarse principalmente del transporte á cortas distancias y á éste le hace implacable competencia, el cabotaje, la carretería y los coches; por consiguiente, en contra de lo que parece más natural y de lo acostumbrado en el comercio al tratarse de la compra de cualquier clase de artículos, ha de ser más barato el transporte á cortas distancias que á distancias largas, no obstante ser unos mismos ciertos gastos, sea para una expedición corta que para una larga, y no obstante, repetimos, ser más barato en el comercio un artículo comprado al por mayor que al por menor. Otras veces, empero, la base kilométrica más baja se aplica á las mayores distancias.

Las tarifas especiales tendrán solo aplicación en un corto número de artículos que interese favorecer atendiendo principalmente á las de mucho recorrido y de mayor tonelaje, que puedan dar mayores beneficios á la compañía, tales son: los minerales y carbones, los materiales de construcción (piedra, cal, yeso, cemento, ladrillos, madera), el vino, el trigo y las harinas, el ga-

nado, la fruta y pocas más; pudiendo ser de base de aplicación uniforme y de base diferencial cuando sea temida la competencia.

Si las tarifas combinadas y de reexpedición son indispensables á las grandes líneas para evitar con ellas las molestias de los remitentes y consignatarios favoreciendo los intereses generales de la industria y del comercio, cuando una mercadería ha de recorrer varias líneas, no lo son ménos tratándose de líneas cortas para que no sufran retardos las expediciones en los empalmes con las líneas importantes, y para recojerlas en el domicilio mismo de los primeros, dejándolas en el de los segundos, ahorrando á uno y á otro la molestia de llevarlas ó recojerlas de la estación.

Estas facilidades, son tanto más indispensables cuanto más pequeña es la línea, para que las mercaderías busquen el transporte por ferro carril y nunca se encarecerá bastante la conveniencia de darlas sin detrimento de las mercaderías y sin perjuicio notable en el coste de la expedición.

V. CONCLUSIÓN.

De todo lo expuesto en éste y en los capítulos anteriores se deduce la patente insuficiencia de la red española de ferro-carriles comprendida en el plan general de la ley de 23 de Noviembre de 1877; la falta de amparo en que dicha ley deja á las comarcas pobres que no pueden dar desde los primeros años el tráfico necesario para remunerar el capital empleado en la construcción de ferro-carriles; y en su consecuencia, se deduce también, que: debería estudiarse una red complementaria que diese satisfacción á estas comarcas; debería reformarse la ley concediéndose subvenciones, ya otorgando á todas, y aún á las que sin estar incluidas en el nuevo plan se solicitaran, una cantidad determinada por kilómetro, ya garantizando el interés del capital de construcción ó ya corriendo á cargo del Estado solo en las de interés general, ó de éste, de las provincias y de los municipios en las de interés



local, la construcción de la infraestructura de la vía. Y deberían reformarse tambien los reglamentos anexos á la citada ley dando mucha libertad á las Compañías sin imputarles las responsabilidades que las actuales les exijen. Por otra parte, no debería intentar el Estado la explotación de línea alguna por su propia cuenta, renunciando en beneficio del público los derechos que cobra y gabelas que impone.

Esto en cuanto á la parte oficial, y respecto á la técnica, el ingeniero, al proyectar una línea, debe inspirarse en los sanos principios de economía que hemos establecido, no olvidando nunca que se trata de una industria que como todas requiere se reduzca á la menor suma posible el capital empleado si este capital ha de ser productivo, sin caer por esto en el extremo opuesto de formular un proyecto perjudicial al porvenir de la comarca á que se destina por extremarse en una excesiva economía.

No se pierda de vista la inmensa trascendencia de los ferro-carriles en el desarrollo de la prosperidad de un país, ni la importancia que les dán las demás naciones, si no queremos retrasarnos más en la marcha general de la civilización; tengamos presente que es preciso llevar esta sávia á todos los rincones de nuestra Península, que muchas comarcas son pobres, que nuestra población es escasa, que los capitales están retraidos y por consiguiente que solo con líneas de poco coste podemos aspirar á servirlas.

Recordemos, en fin, que las líneas secundarias dan vigor á las principales, y que éstas no podrán ostentar una vida robusta mientras aquellas no existan.

Barcelona 29 de Noviembre de 1884.

Antonio Sans y García.



ÍNDICE.

CAPÍTULO PRIMERO

Trazado.

Páginas.



CAPÍTULO SEGUNDO

Construcción.



CAPÍTULO TERCERO

Ferro-carriles de poco coste en España.





ERRATAS Y OMISIONES.

Página.	Línea.	Dice.	Léase.
10	12	Dender	Denver
10	18	$\frac{0'50}{98 \times 4 \times 2}$	$\frac{0'50}{97 \times 4 \times 2}$
12	8	sustención	sustentación
12	23	El radio	El radio mínimo
19	8	los	las
29	25	Festinioge	Festiniog
62	9	Festinioge	Festiniog
89	8 y 9	sencilla	sensible
113	35	una	uno
113	37	, este	: éste
114	1	una	uno
133	27	$\frac{I}{V'}$	$\frac{I}{v'}$
135	22	hacia ellas	hácia ellos
137			En el encabezamiento de la columna octava falta la palabra millones.
137			El promedio 0'4195 debe estar en la columna duodécima.
140	21	cortar	evitar
140	24	los primeros	las primeras
140	25	los segundos	las segundas
141	21	0,9875 α	0,9875 P
155	colum. 21	438	4380
158	2	551	531





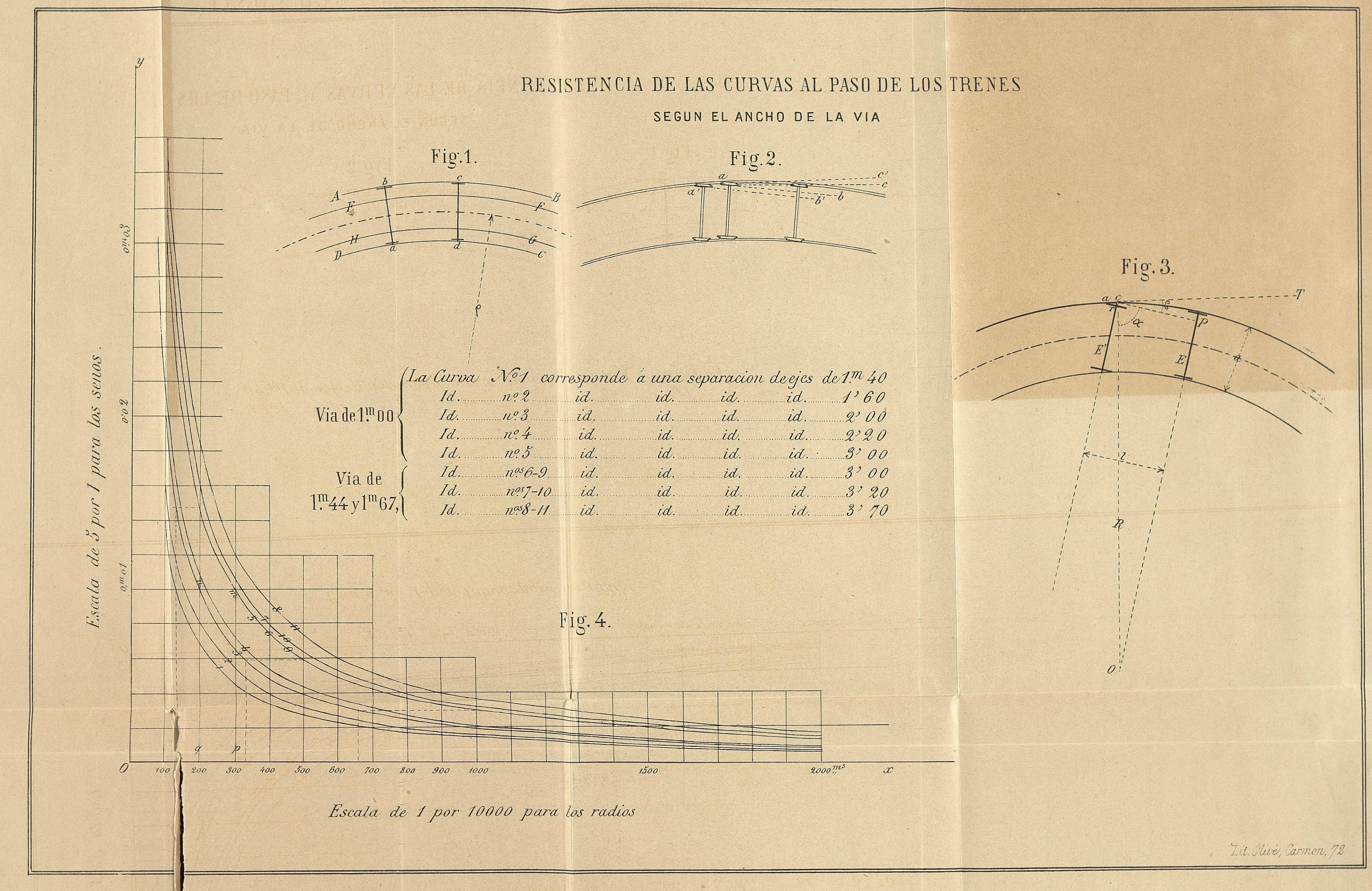
ADVERTENCIA.

Al imprimir en forma de libro el presente estudio sobre «Ferro-carriles de poco coste,» que ha publicado ya la Revista Tecnológico-Industrial y algunos otros periódicos técnicos, no nos mueve la pretensión de dar un libro al público, sólo accedemos á las instancias reiteradas de algunos de nuestros buenos amigos que han manifestado deseos de tenerlo recopilado, no sabemos si por pura deferencia á su autor ó por creer que realmente sea de cierta utilidad. El hacer una obra completa sobre un asunto que, aún cuando no sea con el mismo tema han tratado varios autores extranjeros, por más que ninguna completa se haya publicado en España, sobre no tener el menor mérito no hubiera proporcionado beneficio alguno; por cuya razón hemos preferido ocuparnos poco de lo que tratan la generalidad de los autores, y extendernos más en lo más nuevo y en la exposición de ideas propias que puedan dar cierta originalidad á nuestro estudio. Y si bien no nos hacemos la ilusión de haberlo conseguido, bien ó mal hemos escrito sobre varios puntos técnicos aplicables á nuestra nación, que creemos dignos de llamar la atención, sino por la manera de tratarlos, cuando ménos por la importancia que en sí mismos tienen.

Esta fué la única idea que nos indujo á escribir dedicando nuestro humilde trabajo á la Revista Tecnológico-Industrial antes citada, y sin pensar darle mayor publidad, circunstancia que ahora nos hace confiar contribuirá á conquistarnos la benevolencia de nuestros lectores.

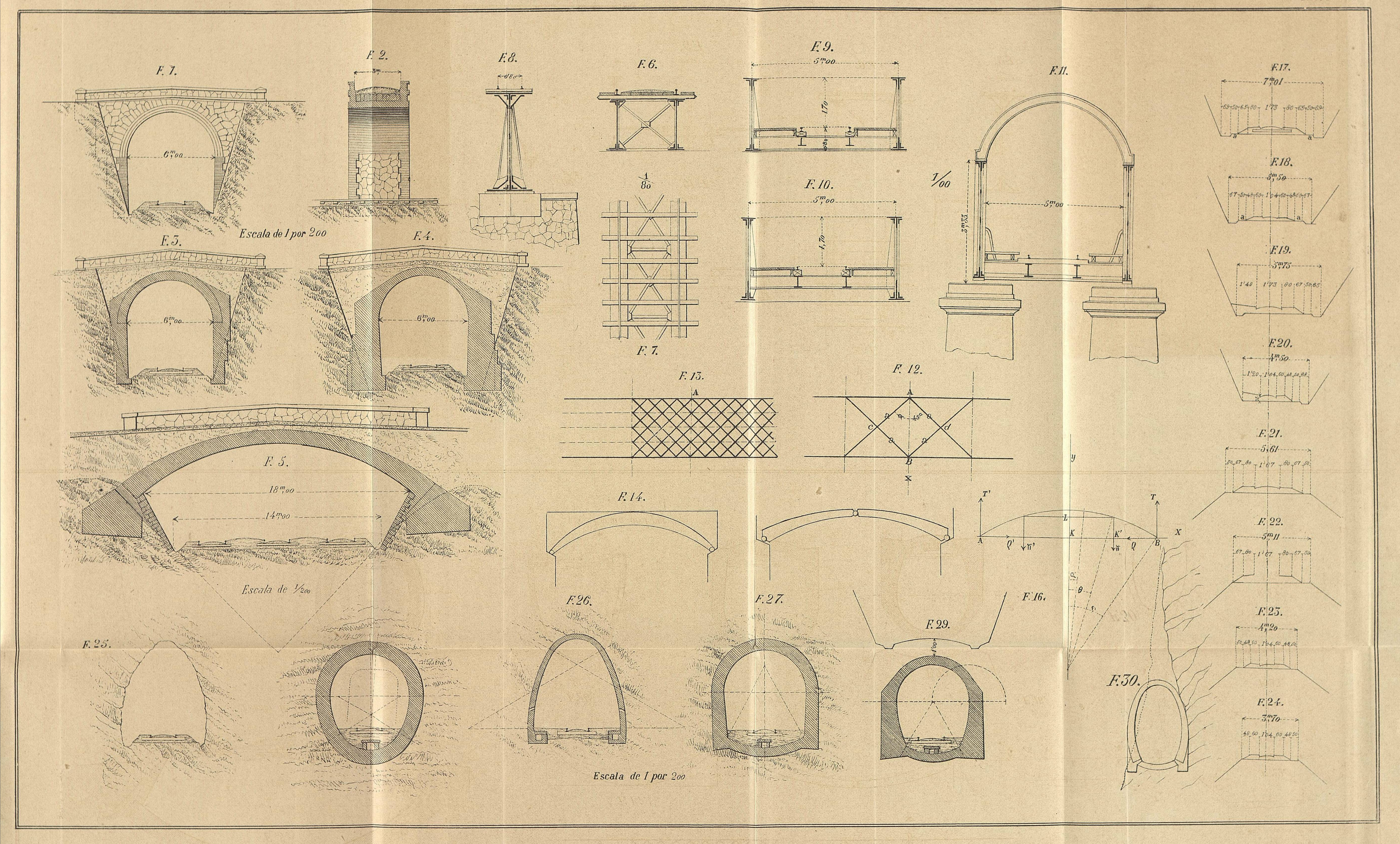
A. Sans.




RESISTENCIA DE LAS CURVAS AL PASO DE LOS TRENES
SEGUN EL ANCHO DE LA VIA
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
La Curva Nº 1 corresponde á una separacion de ejes de 1m 40
Via de 1m 00
Id. nº 2 id. id. id. id. 1' 60
Id. nº 3 id. id. id. id. 2' 00
Id. nº 4 id. id. id. id. 2' 20
Id. nº 5 id. id. id. id. 3' 00
Via de 1m 44 y 1m 67,
Id. nºs 6-9 id. id. id. id. 3' 00
Id. nºs 7-10 id. id. id. id. 3' 20
Id. nºs 8-11 id. id. id. id. 3' 70
Escala de 5 por 1 para los senos.
Escala de 1 por 10000 para los radios
0m 03
0m 02
0m 01
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1500
2000ms
Lit. Olivé, Carmen, 72

FERRO-CARRILES DE POCO COSTE

LAMA III A



FERRO-CARRILES DE POCO COSTE

F. 1.

149½ m/m
13
57½
13
7
41
13
13
12½
Inclinacion 6/11
Radio 200 m/m
G
Eje del centro de gravedad
38
50
105½
13
18
Inclinacion 14%
26
3
104½ m/m
70
55
64,3
60,7
125
110 m/m

F. 2.

60 m/m
a
b
a b
100 m/m

Corte C. D.

Corte A. B.

F. 10.

5'80

F. 9.

3'10
2'50

Escala de 1/200

F. 8.

B.
5'06
3'00
2'03
2'00
2'55
2'50
4'00
9m 20
5m 95
C.
D.
A.

F. 11.

F. 12.

F. 5.

V
M

F. 4.

V
M

F. 3.

V
M

F. 6.

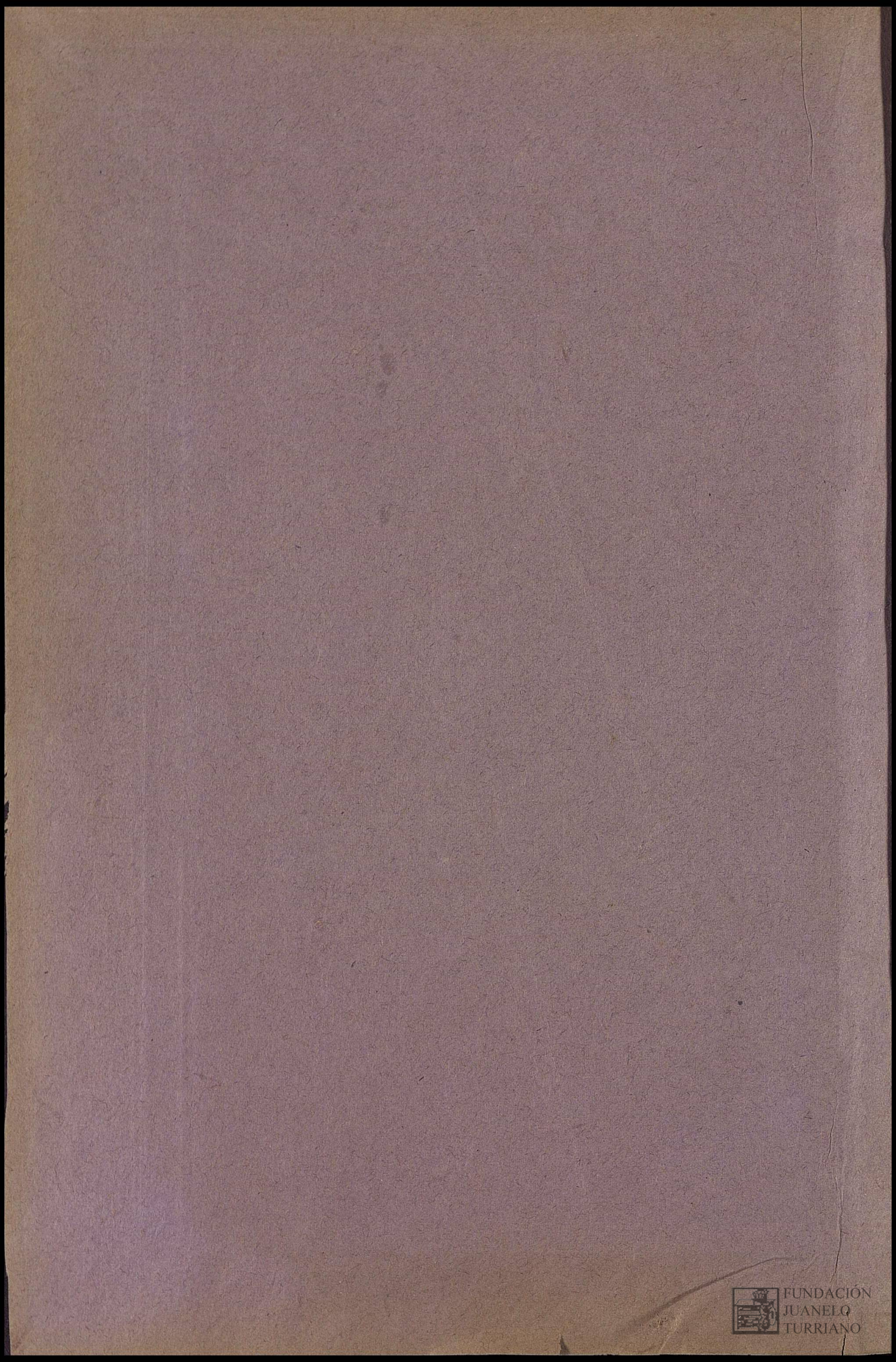
V

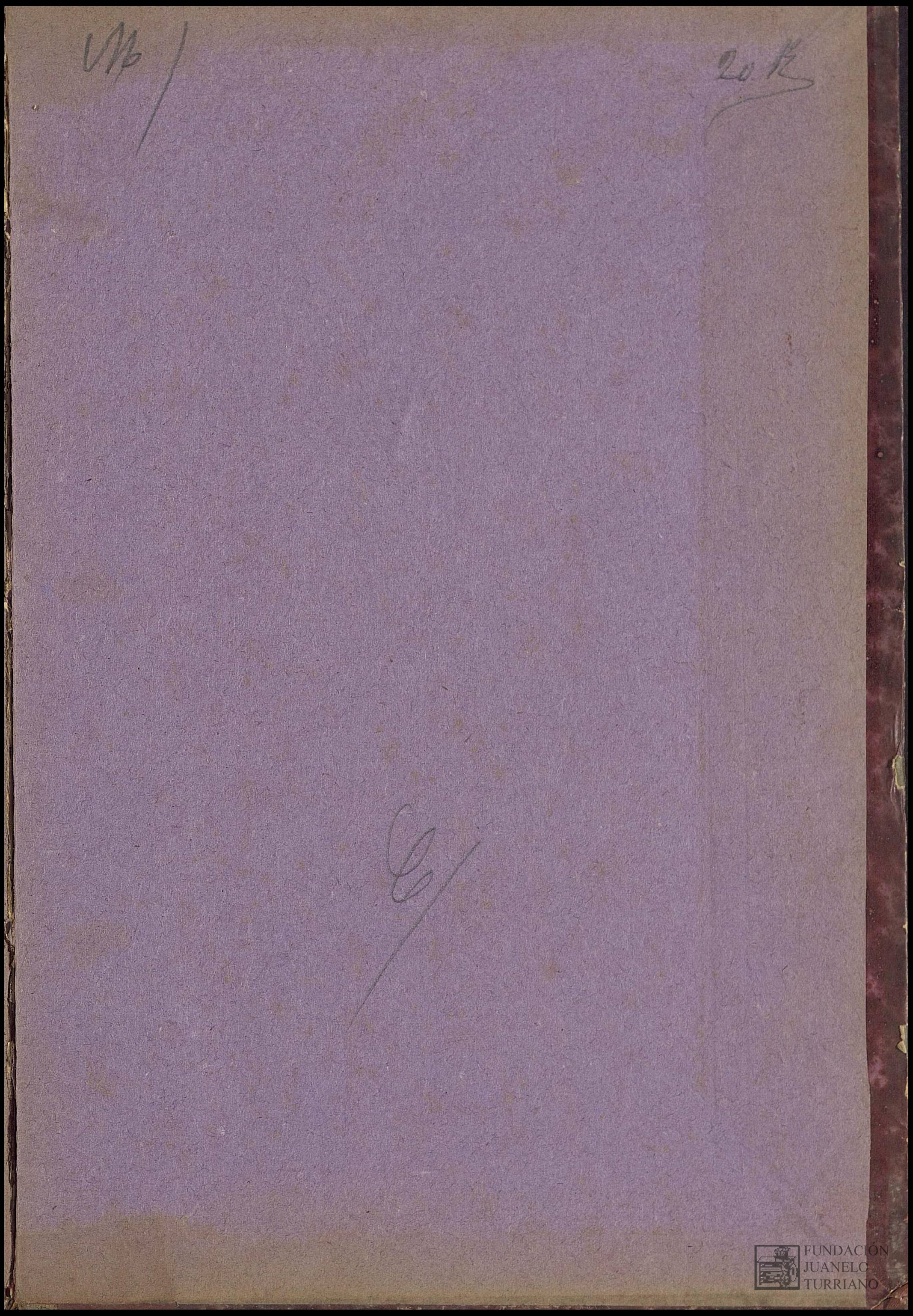
Escala de 1/100

F. 7.

11m 20
4m 00
3m 00
2'50
3'00
6m 55
3'65
Vestíbulo y descanso.
Despacho del Jefe y telegrafo
Lampareria
4m 00
2m 10
2'10
Anden.


FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO


FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO


20.K

